



**TUGAS AKHIR TF 091581**

**STUDI HAZOP BERBASIS *LAYER OF PROTECTION ANALYSIS* PADA  
*REGENERATION TOWER 32-R-104*  
*CONTINUOUS CATALYTIC REGENERATION*  
*NAPTHA PROCESS UNIT* PT. PERTAMINA**

Rinanda Dwi Purnama Asty  
NRP 2412100018

Dosen Pembimbing  
Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

JURUSAN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



FINAL PROJECT TF091581

***HAZOP STUDY BASED ON LAYER OF  
PROTECTION ANALYSIS IN REGENERATION  
TOWER 32-R-104 CONTINUOUS CATALYTIC  
REGENERATION NAPHTHA PROCESS UNIT  
PT. PERTAMINA***

Rinanda Dwi Purnama Asty  
NRP 2412100018

Supervisor  
Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

DEPARTEMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**STUDI HAZOP BERBASIS *LAYER OF PROTECTION***  
***ANALYSIS* PADA *REGENERATION TOWER 32-R-104***  
***CONTINUOUS CATALYTIC REGENERATION NAPHTHA***  
***PROCESS UNIT PT. PERTAMINA***

**TUGAS AKHIR**

Oleh:  
**RINANDA DWI PURNAMA ASTY**  
**NRP. 2412100018**

**Surabaya, 07 Januari 2016**  
**Mengetahui/Menyetujui**

**Pembimbing**

**Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc**  
**NIPN. 19600901198701001**

**Ketua Jurusan**  
**Fisika, FTI – ITS**



**Agus Muhammad Hatta, ST, M.Si, PhD**  
**NIPN. 197809022003121002**

## LEMBAR PENGESAHAN

### **STUDI HAZOP BERBASIS *LAYER OF PROTECTION ANALYSIS* PADA *REGENERATION TOWER 32-R-104* CONTINUOUS CATALYTIC REGENERATION NAPHTHA PROCESS UNIT PT. PERTAMINA**

#### **TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**pada**

**Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:**

**RINANDA DWI PURNAMA ASTY  
NRP 2412100018**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc .....(Pembimbing)
2. Totok Ruki Biyanto, ST, MT, PhD .....(Penguji I)
3. Dr. Bambang L. Widjiantoro, ST, MT .....(Penguji II)
4. Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, ST, MT .....(Penguji III)
5. Murry Raditya, ST, MT .....(Penguji IV)

**SURABAYA  
JANUARI 2016**

# **STUDI HAZOP BERBASIS *LAYER OF PROTECTION ANALYSIS* PADA *REGENERATION TOWER 32-R-104 CONTINUOUS CATALYTIC REGENERATION NAPHTHA* PROCESS UNIT PT. PERTAMINA**

**Nama Mahasiswa : Rinanda Dwi Purnama Asty**  
**NRP : 2412 100 018**  
**Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS**  
**Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc.**

## **Abstrak**

Salah satu sektor industri yang sangat vital di Indonesia adalah industri minyak dan gas. Kecelakaan yang terjadi pada suatu industri terutama industri *oil and gas* tentunya akan menimbulkan kerugian cukup besar dan pada kasus yang lebih berbahaya mungkin saja dapat memakan korban. Studi ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi berdasarkan perhitungan SIL dan penilaian resiko dengan analisis HAZOP untuk mencapai keselamatan kerja dari suatu industri proses. Objek yang akan dianalisis terkait resiko dan nilai *Safety Integrity Level* adalah *regeneration tower CCR Naptha Process Unit* PT Pertamina RU VI Balongan. Seluruh line input proses yang memberikan pengaruh besar terhadap jalannya sistem *regeneration tower* memiliki resiko bahaya dengan tiga kategori *risk ranking* yaitu 15,38 % untuk kategori rendah, 38,46 % untuk kategori medium, dan 46,15 % untuk kategori tinggi. Perhitungan nilai SIL yang telah dilakukan dengan metode *Layer of Protection Analysis* menunjukkan angka SIL 0 untuk seluruh loop sistem yang mewakili jalannya proses. Rekomendasi berupa kombinasi dari konfigurasi arsitektur SIS dapat dilakukan untuk menaikkan nilai SIL 0 menjadi SIL 1 dengan memberikan kombinasi konfigurasi yang sama untuk *sensing element* dan *final element* yaitu 1oo2.

**Kata Kunci : HAZOP, *Layer of Protection Analysis*, SIL**



**HAZOP STUDY BASED ON LAYER OF PROTECTION  
ANALYSIS IN REGENERATION TOWER 32-R-104  
CONTINUOUS CATALYTIC REGENERATION NAPHTHA  
PROCESS UNIT PT. PERTAMINA**

**Name** : Rinanda Dwi Purnama Asty  
**NRP** : 2412 100 018  
**Departement** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Supervisor** : Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc.

***Abstract***

*One of the vital industrial sectors in Indonesia is the oil and gas industry. Accidents that occur in an oil and gas industry will certainly lead to substantial losses and for more dangerous condition might lead to some major injuries. This study intends to provide recommendations based on the calculation of risk assessment with SIL and HAZOP analysis to reach the safety of an industrial process. The analyzed object is a regeneration tower CCR Naphtha Process Unit PT Pertamina RU VI Balongan. The whole process inputs that influence the course of regeneration tower system has a risk of danger defined into three categories of risk ranking which are 15.38 % for the category of low, 38.46 % for the category of medium, and 46.15 % for the category of high. SIL value calculation has been done by the method of Layer of Protection Analysis that shows SIL 0 for the entire loop system that represents the course of the process. Recommendations in the form combination of SIS architecture configuration can be done to raise the value of SIL 0 to SIL 1 by providing a combination of the same configuration for the sensing element and final element which is 1002.*

***Keywords : HAZOP, Layer of Protection Analysis, SIL***

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur kepada Allah SWT Yang Maha Agung dan Maha Bijaksana. Atas berkah, petunjuk, dan karunia-Nya penulis mampu untuk melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Studi *HAZOP* berbasis *Layer of Protection Analysis* pada *Regeneration Tower* 32-R-104 *Continous Catalytic Regeneration Naptha Process Unit* PT. Pertamina”

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menyelesaikan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc selaku pembimbing tugas akhir atas segala ilmu dan bimbingan yang diberikan.
2. Orang tua dan kakak tercinta yang telah memberikan doa dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Hendra Cordova, ST, MT selaku dosen wali yang selalu memberikan perhatiannya selama penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Fisika.
4. Bapak Ir. Yaumar selaku kepala laboratorium Rekayasa Instrumentasi.
5. Bapak Agus Muhammad Hatta, ST, M.SI, PhD selaku ketua Jurusan Teknik Fisika, FTI – ITS.
6. Bapak Agus Yogaswara selaku *supervisor* dari *maintenance area III department* yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dalam masa pengerjaan tugas akhir di PT. Pertamina RU VI Balongan – Jawa Barat.
7. Mas Ricky Nurrahman selaku pekerja *maintenance area III department* yang telah memberikan informasi-informasi tambahan terkait dengan tugas akhir.

8. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah banyak memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan jenjang kuliah sampai tugas akhir ini.

9. Kepada teman-teman asisten laboratorium rekayasa instrumentasi dan control yang selalu memberikan motivasi dan dukungan dalam kondisi apapun.

Penulis menyadari bahwa terdapat beberapa kekurangan dalam tugas akhir ini, tetapi penulis berharap hasil penelitian tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan dapat menambah wawasan bagi pembaca dan mahasiswa Teknik Fisika yang nantinya dapat digunakan sebagai referensi pengerjaan tugas akhir selanjutnya. Semoga hasil penelitian tugas akhir ini banyak memberikan manfaat untuk kemajuan bidang safety, khususnya di *oil and gas company*.

Surabaya, 06 Januari 2016

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	v
<b>ABSTRAK</b>	ix
<b>ABSTRACT</b>	xi
<b>KATA PENGANTAR</b>	xiii
<b>DAFTAR ISI</b>	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b>	xviii
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 <i>Regeneration Section</i>	5
2.2 <i>Hazard and Operability Study (HAZOP)</i>	8
2.3 <i>Safety Integrity Level (SIL)</i>	9
2.4 <i>Layer of Protection Analysis (LOPA)</i>	12
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 <i>Flowchart Penelitian</i>	15
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Analisis Risiko	22
4.2 Analisis HAZOP	29
4.3 <i>Layer of Protection Analysis</i>	30
4.4 Rekomendasi Peningkatan SIL	31
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	<i>Regeneration Section</i>	6
<b>Gambar 2.2</b>	Flow Diagram Siklus Regenerasi	7
<b>Gambar 2.3</b>	Tower Regenerasi	7
<b>Gambar 2.4</b>	Tabel Format Lembar Kerja Analisa HAZOP	9
<b>Gambar 2.5</b>	Lapisan Pertahanan LOPA	13
<b>Gambar 3.1</b>	<i>Flowchart</i> Penelitian	15
<b>Gambar 3.2</b>	DCS Screen Tower Regenerasi	16
<b>Gambar 3.3</b>	Matriks Resiko Terhadap Manusia	17
<b>Gambar 3.4</b>	Matriks Resiko Terhadap Aset	18
<b>Gambar 3.5</b>	Matriks Resiko Terhadap Lingkungan	18
<b>Gambar 3.6</b>	Matriks Resiko Terhadap Reputasi	19
<b>Gambar 4.1</b>	<i>Sensing Element 1002 – Final Element 1002</i>	35

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	<i>Guide Words</i> HAZOP	9
<b>Tabel 2.2</b>	Parameter Proses Analisa HAZOP	9
<b>Tabel 2.3</b>	Safety Integrity Integrity Level untuk LOPA	13
<b>Tabel 2.4</b>	Target mitigated event Likelihood for safety hazards adapted from Nordhagen (2007)	14
<b>Tabel 4.1</b>	Analisis <i>Cause and Consequences</i> Siklus O <sub>2</sub>	23
<b>Tabel 4.2</b>	Analisis <i>Risk Ranking</i> Siklus O <sub>2</sub>	24
<b>Tabel 4.3</b>	Analisis <i>Cause and Consequences</i> Siklus Klorid	25
<b>Tabel 4.4</b>	Analisis <i>Risk Ranking</i> Siklus Klorid	26
<b>Tabel 4.5</b>	Analisis <i>Cause and Consequences</i> Siklus Dry Air	27
<b>Tabel 4.6</b>	Analisis <i>Risk Ranking</i> Siklus Dry Air	28
<b>Tabel 4.7</b>	Konfigurasi <i>Sensing Element</i>	40
<b>Tabel 4.8</b>	Konfigurasi <i>Final Element</i>	40
<b>Tabel 4.9</b>	Kombinasi Konfigurasi dan Nilai SIL	40



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu sektor industri yang sangat vital di Indonesia adalah industri minyak dan gas. Negara Indonesia memiliki satu badan usaha milik negara yaitu PT. Pertamina yang bertugas untuk memenuhi kebutuhan Bahan Bakar Minyak seluruh masyarakat Indonesia.<sup>[1]</sup> Semakin meningkatnya pengembangan dan pengenalan teknologi baru yang hampir berjalan setiap saat menyebabkan timbulnya masalah baru di tempat kerja. Masalah baru tersebut dapat berupa cara untuk mengendalikan risiko kegagalan yang tidak dapat diterima. Risiko kegagalan alat instrumen dalam waktu tertentu dapat ditimbulkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah faktor lokasi dimana sebuah pabrik beroperasi. Kondisi lingkungan pabrik yang berbeda dapat menyebabkan perbedaan nilai failure rate ( $\lambda$ ) terhadap alat instrumen pabrik tersebut. Oleh karena itu sebuah industri diperlukan untuk memiliki pengetahuan tentang pendekatan, metode, dan teknik baru dalam bidang ilmu keselamatan.<sup>[2]</sup> Bahaya dapat muncul dari hal sederhana yang tidak terduga. Salah satu contoh asal mula timbulnya bahaya adalah kegagalan alat instrumen untuk bekerja sebagaimana mestinya pada suatu operasi industri yang sangat kompleks sehingga memicu terjadinya kecelakaan kerja. Bahaya juga dapat timbul karena kurangnya sistem proteksi yang tersusun untuk mengamankan proses. Kecelakaan yang terjadi pada suatu industri terutama industri *oil and gas* tentunya akan menimbulkan kerugian cukup besar dan pada kasus yang lebih berbahaya mungkin saja dapat memakan korban.

Analisis bahaya dapat dilakukan dengan metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP) dan kemudian dilakukan analisis lebih lanjut terkait *Layer Protection* dari susunan sistem dengan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA). Unit proses *Continuous Catalytic Regeneration* (CCR) platforming dalam *Naptha Process Unit* (NPU) terdiri atas dua bagian proses yaitu



seksi reaksi dan seksi regenerasi. Seksi regenerasi memiliki tugas untuk meregenerasi katalis terdeaktivasi yang disebabkan oleh reaksi-reaksi reforming pada reaktor platforming.<sup>[3]</sup> Reaktor yang terdapat pada unit 32 tergolong berbeda dengan reaktor pada umumnya karena kondisi katalis yang direaksikan didalamnya selalu bergerak. Pergerakan dari katalis tersebut menjadi alasan diperlukannya adanya regenerasi katalis pada proses tersebut. Tempat utama terjadinya proses regenerasi adalah *regeneration tower*. Oleh sebab itu, pemulihan kembali aktivitas dan selektivitas katalis dalam seksi regenerasi katalis akan memastikan kontinuitas reaksi-reaksi platforming. Dengan cara ini seksi reaksi platforming akan tetap kontinu beroperasi sementara katalis diregenerasi secara kontinu pula.

Tugas akhir ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi berdasarkan perhitungan SIL dan penilaian resiko dengan analisis HAZOP untuk mencapai keselamatan kerja dari suatu industri proses. Objek yang akan dianalisis terkait resiko dan nilai *Safety Integrity Level* adalah *regeneration tower CCR Naptha Process Unit* PT Pertamina RU VI Balongan.

## 1.2 Permasalahan

Permasalahan yang diangkat dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana hasil analisis nilai HAZOP pada *regeneration tower CCR Naptha Process Unit* PT Pertamina RU VI Balongan?
2. Bagaimana hasil evaluasi nilai *Safety Integrity Level* pada *regeneration tower CCR Naptha Process Unit* PT Pertamina RU VI Balongan dengan metode *Layer of Protection Analysis*?
3. Apa saja rekomendasi yang dapat diberikan terkait hasil analisis secara keseluruhan yang telah diperoleh?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diangkat dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Plant yang dianalisis adalah *regeneration tower CCR Naptha Process Unit* di PT Pertamina RU VI Balongan.

2. Data-data yang digunakan diperoleh dari data *maintenance* PT Pertamina RU VI Balongan serta wawancara dengan petugas yang menangani permasalahan yang terkait.
3. Perhitungan *Safety Integrity Level* menggunakan metode *Layer of Protection Analysis*.

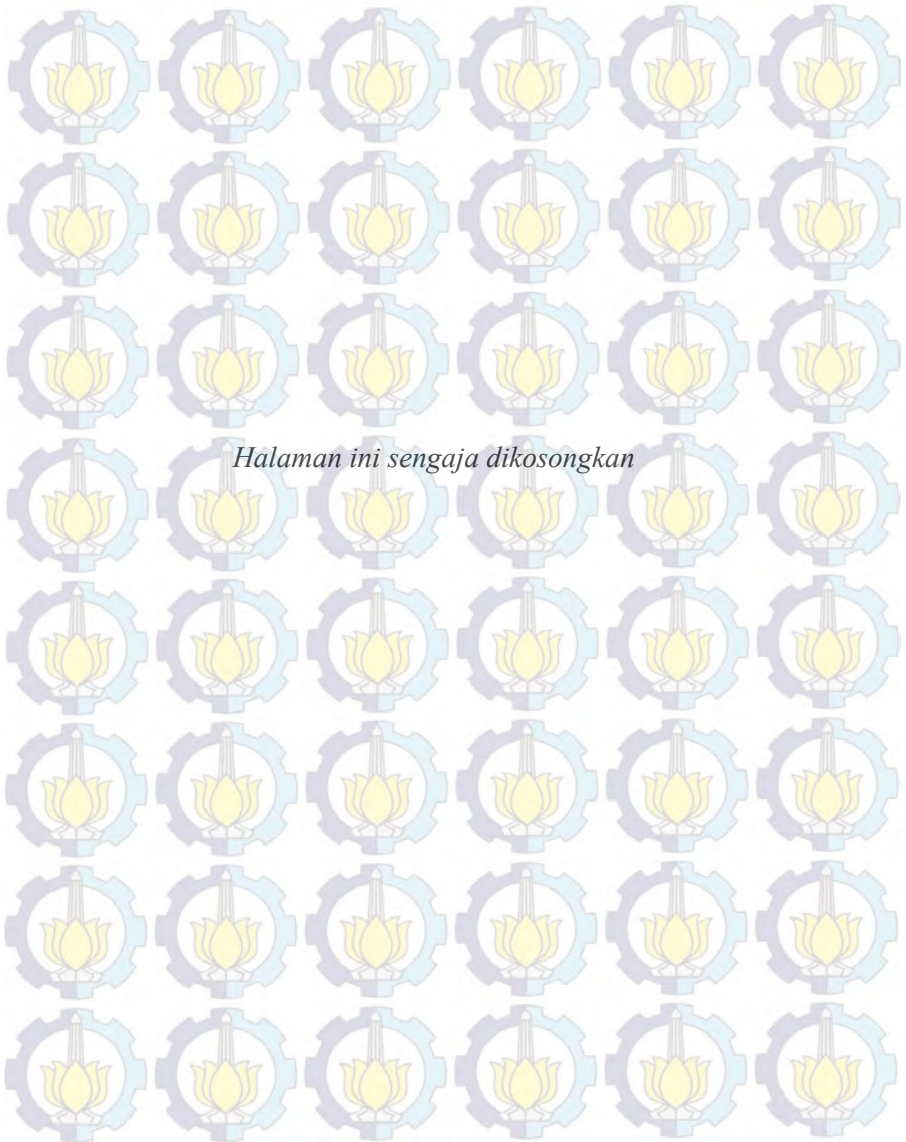
#### 1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui hasil analisis HAZOP pada *regeneration tower CCR Naptha Process Unit* PT Pertamina RU VI Balongan.
2. Mengetahui nilai *Safety Integrity Level* pada *regeneration tower CCR Naptha Process Unit* PT Pertamina RU VI Balongan.
3. Memberikan rekomendasi yang bermanfaat kepada perusahaan terkait dengan kondisi sistem safety yang telah dianalisis.

#### 1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai bahan pertimbangan bagi industri pengolahan minyak PT. Pertamina RU VI Balongan, khususnya bagi departemen *Safety*, terkait dengan rekomendasi yang akan diberikan diakhir penelitian agar dapat memberikan sistem *safety* yang lebih baik dan aman sehingga kemungkinan adanya bahaya pada *regeneration tower* dapat dikurangi.





## **BAB II**

### **TEORI PENUNJANG**

#### **2.1 *Regeneration Section***

Unit proses CCR platforming dalam *Naptha Process Unit* (NPU) terdiri atas dua bagian proses yaitu seksi reaksi dan seksi regenerasi. Seksi regenerasi memiliki tugas untuk meregenerasi katalis terdeaktivasi yang disebabkan oleh reaksi-reaksi reforming pada reaktor platforming. Reaktor yang terdapat pada unit 32 tergolong berbeda dengan reaktor pada umumnya karena kondisi katalis yang direaksikan didalamnya selalu bergerak. Pergerakan dari katalis tersebut menjadi alasan diperlukannya seksi regenerasi katalis pada proses tersebut. Tempat utama terjadinya proses regenerasi adalah *regeneration tower*. Oleh sebab itu, pemulihan kembali aktivitas dan selektivitas katalis dalam seksi regenerasi katalis akan memastikan kontinuitas reaksi-reaksi platforming. Dengan cara ini seksi reaksi platforming akan tetap kontinyu beroperasi sementara katalis diregenerasi secara kontinyu pula.

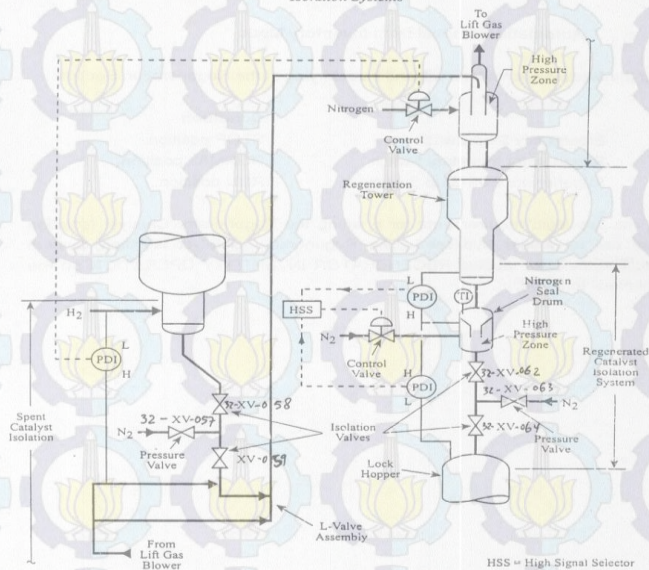
Seksi regenerasi mempunyai dua fungsi, fungsi tersebut adalah sirkulasi katalis dan regenerasi katalis dalam suatu sirkuit kontinyu. Katalis yang telah digunakan dari reaktor platforming menjadi masukan untuk disirkulasi ke seksi regenerasi katalis. Katalis harus melalui suatu operasi bertahap untuk memastikan unjuk kerjanya sebelum katalis di recycle kembali ke seksi reaksi platforming. Sistem regenerasi mengontrol regenerasi katalis. Tujuan regenerasi katalis adalah untuk memulihkan katalis ke suatu keadaan yang sedekat mungkin dengan katalis baru (*fresh*) dalam suatu kondisi yang aman. Sistem regenerasi mengikuti keperluan logis untuk mendapatkan tujuan ini.

Empat langkah seksi regenerasi yang harus dilalui antara lain pembakaran coke, oksidasi, pengeringan dan yang terakhir adalah reduksi. Logika dan urutan sirkuit ini dikontrol oleh Sistem Pengontrolan Regenerator Katalis (*Catalyst Regenerator Control System* (CRCS)). Operasi seksi regenerasi katalis mempunyai suatu pengaruh yang besar untuk



mengembalikan keseimbangan yang sesuai antara fungsi metal dan fungsi klorida. Keempat langkah-langkah regenerasi katalis harus dilakukan dengan baik untuk mempertahankan keseimbangan tersebut. Operasi yang baik pada seksi regenerasi katalis akan membantu memastikan unjuk kerja optimum dan umur katalis yang lama. Berikut adalah gambaran umum dari seksi regenerasi yang dijelaskan pada gambar 2.1.

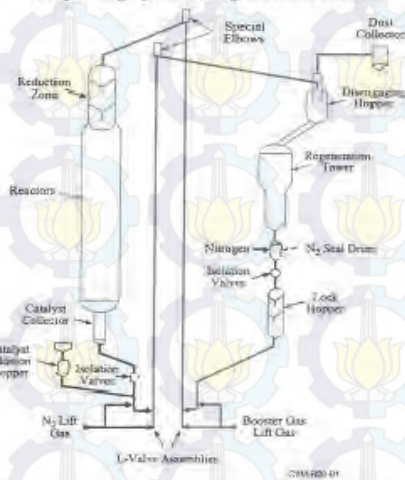
Figure IV-10  
CycleMax Regeneration Section  
Isolation Systems



**Gambar 2.1** Regeneration Section

Jalannya proses yang terjadi pada siklus regenerasi dapat diterjemahkan secara sederhana dalam sebuah flow diagram proses yang dapat dilihat pada gambar 2.2.

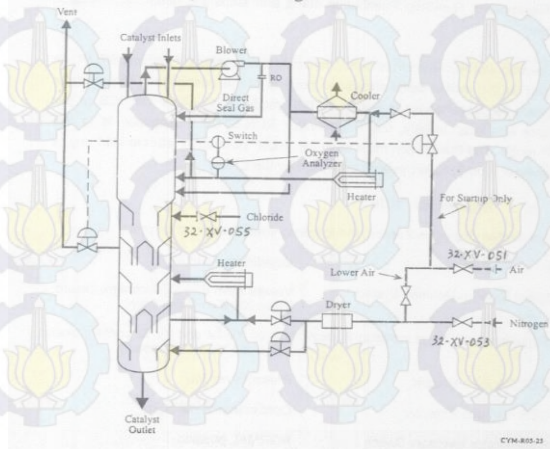
**Simplified Flow Diagram of UOP Continuous Platforming CycleMax Regeneration Section**



**Gambar 2.2** Flow Diagram Siklus Regenerasi

Titik studi dari penelitian ini adalah tower. Gambaran sederhana dari jalannya proses tower regenerasi secara umum dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah ini.

**CycleMaxx Regeneration Tower**



**Gambar 2.3** Tower Regenerasi<sup>[4]</sup>

## 2.2 HAZOP (*Hazard and Operability Study*)

*Hazard and Operability Study (HAZOP)* adalah suatu teknik identifikasi dan analisis bahaya yang formal, sistematis, logical, dan terstruktur untuk meninjau suatu proses atau operasi pada sebuah sistem secara otomatis dan menguji potensi deviasi operasi dari kondisi desain yang dapat menimbulkan masalah operasi proses dan bahaya.<sup>[5]</sup>

Berdasarkan definisi diatas dapat dikatakan bahwa analisis HAZOP dapat memberikan informasi terkait dengan sebab-sebab bahaya diikuti dengan konsekuensinya serta seberapa tinggi *ranking* dari bahaya tersebut. Analisis HAZOP dilakukan atas dasar analisis bahaya dari input, dan output proses yang berjalan. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui penyebab-penyebab dari semua penyimpangan jalannya proses. Hasil *risk ranking* dari analisis HAZOP juga dapat memberikan petunjuk terkait bahaya apa yang memiliki tingkat keparahan paling tinggi serta memiliki probabilitas terbesar. Analisis *cause-consequences* nantinya akan diikuti dengan analisis terhadap ada tidaknya *safeguard system* yang telah terpasang serta rekomendasi apa saja yang dapat diberikan terkait dengan analisis bahaya yang telah dilakukan. Dalam melakukan analisis HAZOP dibutuhkan beberapa informasi terlebih dahulu yaitu *Process Flow Diagram (PFD)* serta deskripsi dari proses tersebut. Kedua hal tersebut dapat digunakan untuk menentukan parameter-parameter yang terlibat dalam keseluruhan analisis HAZOP. Selain itu terdapat pula *Guide Words* yang merupakan kata-kata mudah untuk mengidentifikasi bahaya proses (CCPS, 2008). Berikut merupakan contoh dari *guide words* yang ditunjukkan pada tabel 2.1 dan parameter proses HAZOP pada tabel 2.2.



**Tabel 2.1** *Guide Words* HAZOP

Guide Words	Meaning
No	Negation of the Design Intent
Less	Quantitative Decrease
More	Quantitative Decrease
Low	Qualitative Decrease
High	Qualitative Decrease
Over	Qualitative Decrease
Misdirect	Qualitative Decrease

Sumber: *Center for Chemical Process Safety*, 1992

**Tabel 2.2** Parameter Proses Analisa HAZOP

Flow	Time	Frequency	Mixing
Pressure	Composition	Viscosity	Addition
Temperature	pH	Voltage	Separation
Level	Speed	Information	Reaction

Sumber: *Center for Chemical Process Safety*, 1992

Hasil dari HAZOP dicatat dalam format tabulasi, dapat dilihat pada gambar 2.4

GW	Dev.	Causes	Consequence	Safeguards	S	L	R	Recs	Remarks	Comments

**Gambar 2.4** Tabel Format Lembar Kerja Analisa HAZOP

(Sumber : *Dennis P. Nolan, P.E*, 1994)

### 2.3 *Safety Integrity Level* (SIL)

*Safety Integrity Level* adalah kategori tingkat keamanan dari suatu konfigurasi sistem instrumen yang disebut dengan *Safety Instrumented System* (SIS).<sup>[6]</sup> Konfigurasi dari SIS terdiri atas *sensor*, *logic solver*, dan *final element* (aktuator). SIS tidak bekerja bersamaan dengan jalannya proses, namun SIS akan menunjukkan aksinya ketika terdapat indikasi bahaya dari



jalannya proses seperti *overttemperature*, *overpressure*, dan bahaya-bahaya lainnya. Analisis dari nilai SIL dibutuhkan agar perusahaan dapat mengerti kondisi plant yang berjalan dan dapat memberikan rekomendasi atas keputusan yang harus diambil untuk menanggulangi bencana yang tidak diharapkan. Untuk menghitung nilai SIL kita harus mengetahui nilai *Probability of Failure on Demand* (PFD) dari konfigurasi yang menyusun SIS.  $\lambda$  merupakan nilai laju kegagalan yang nantinya akan menentukan nilai PFD, sedangkan nilai  $T_i$  merupakan test interval yang digunakan. Nilai PFD yang telah didapatkan dapat digunakan untuk mencari tingkatan nilai SIL. Nilai SIL yang lebih rendah menyatakan bahwa komponen tersebut memiliki laju kegagalan yang lebih tinggi dan begitu juga sebaliknya.

Berikut ini adalah rumus yang dapat digunakan untuk menentukan PFD :

$$PFD_{Avg\ element} = \frac{\lambda_{element} \times T_{i\ element}}{2} \quad (2.1)$$

Dimana :

$\lambda$  = Laju kegagalan (*failure rate*)

$T_i$  = *Test interval*

Untuk mendapat nilai PFD dari satu loop maka dilakukan kalkulasi nilai PFD dari seluruh komponen yang menyusun loop tersebut.<sup>[7]</sup>

$$PFD_{Avg\ SIF} = PFD_{Avg\ S} + PFD_{Avg\ LS} + PFD_{Avg\ FE} \quad (2.2)$$

Standar ISA-TR84.00.02-2002 menjelaskan tentang persamaan yang digunakan dalam perhitungan PFD dengan berbagai arsitektur.<sup>[8]</sup> Arsitektur dari SIS dapat digambar dengan beberapa konfigurasi seperti antara lain :

- 1oo1 artinya one out of one, terdapat 1 keluaran dari 1 SIF.

- 1002 artinya one out of two, terdapat 1 keluaran dari 2 SIF.
- 1003 artinya one out of three, terdapat 1 keluaran dari 3 SIF.
- 2002 artinya two out of two, terdapat 2 keluaran dari 2 SIF.
- 2003 artinya two out of three, terdapat 2 keluaran dari 3 SIF.
- 2004 artinya two out of four, terdapat 2 keluaran dari 4 SIF.

Adapun perhitungan untuk arsitektur untuk *sensing element* adalah sebagai berikut :

- 1001

$$PFD_{avg} = \frac{\lambda \times TI}{2} \quad (2.3)$$

- 1002

$$PFD_{avg} = \frac{\lambda^2 \times TI^2}{4} \quad (2.4)$$

- 1003

$$PFD_{avg} = \frac{\lambda^3 \times TI^3}{8} \quad (2.5)$$

- 2002

$$PFD_{avg} = \lambda \times TI \quad (2.6)$$

- 2003

$$PFD_{avg} = \frac{3 \times \lambda^2 \times TI^2}{4} \quad (2.7)$$

- 2004

$$PFD_{avg} = \frac{\lambda^3 \times TI^3}{2} \quad (2.8)$$

Sedangkan perhitungan untuk *final element* dapat dituliskan sebagai berikut :

- 1001

$$PFD_{avg} = \frac{\lambda \times TI}{2} \quad (2.9)$$

- 1002

$$PFD_{avg} = \frac{\lambda^2 \times TI^2}{3} \quad (2.10)$$

- 1003

$$PFD_{avg} = \frac{\lambda^3 \times TI^3}{4} \quad (2.11)$$

- 2002

$$PFD_{avg} = \lambda \times TI \quad (2.12)$$

- 2003

$$PFD_{avg} = \lambda^2 \times TI^2 \quad (2.13)$$

- 2004

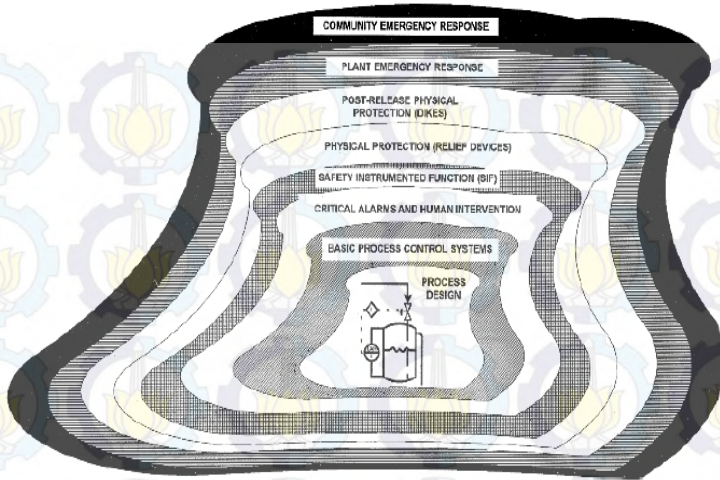
$$PFD_{avg} = \lambda^3 \times TI^3 \quad (2.14)$$

## 2.4 Layer of Protection Analysis (LOPA)

LOPA adalah cara untuk mengetahui nilai SIL serta mengevaluasi layer proteksi pada sistem dengan cara melihat mitigation risk dari layer proteksi tersebut.<sup>[9]</sup> Setiap daerah akan dibagi menjadi bagian-bagian sistem untuk diidentifikasi bahayanya berdasarkan *Layer of Protection*. Bagian-bagian tersebut antara lain *process design*, *Basic Process Control System* (BPCS), *alarm system*, *Emergency Shutdown System* (ESD), dan juga *passive protection* yang ada pada setiap bagian sistem. Setiap bahaya memiliki probabilitas (*likelihood*) dan konsekuensi (*Impact*) terhadap manusia, asset, lingkungan, serta reputasi sehingga tingkat risikonya dapat diperhitungkan sesuai dengan “Risk Matrix” perusahaan terkait.

Input kunci dari LOPA adalah skenario yang diperoleh dari identifikasi potensi bahaya. Tujuan utama LOPA adalah untuk memastikan bahwa telah ada lapisan perlindungan yang sesuai untuk melawan skenario kecelakaan dan menghitung tingkat keamanan dari lapisan tersebut. Skenario bahaya mungkin saja membutuhkan satu atau lebih lapisan proteksi tergantung pada seberapa kompleks proses yang berjalan serta tingkat keparahan dari bahaya tersebut. Gambaran dari lapisan-lapisan proteksi yang terdapat pada LOPA dapat dilihat pada gambar 2.5.





**Gambar 2.5** Lapisan Pertahanan LOPA  
(Center for Chemical Process Safety, 2001)

Pada *Layer of Protection Analysis*, perhitungan nilai SIL dari *Safety Instrumented Function* (SIF) diperoleh dari nilai perbandingan *Target Mitigated Event Likelihood* (TMEL) dengan *Initiating Event Likelihood* (IEL) yang didapatkan dari perhitungan laju kegagalan komponen. Kategori tingkatan dari nilai SIL dapat dilihat pada tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Safety Integrity Integrity Level untuk LOPA

Kategori SIL	PFD	RRF= (1/PFD)
NR	$1 < \text{PFD}$	$\text{RRF} \leq 1$
SIL 0	$10^{-1} \leq \text{PFD} < 1$	$1 < \text{RRF} \leq 10$
SIL 1	$10^{-2} \leq \text{PFD} < 10^{-1}$	$10 < \text{RRF} \leq 100$
SIL 2	$10^{-3} \leq \text{PFD} < 10^{-2}$	$100 < \text{RRF} \leq 1.000$
SIL 3	$10^{-4} \leq \text{PFD} < 10^{-3}$	$1.000 < \text{RRF} \leq 10.000$
SIL 4	$10^{-5} \leq \text{PFD} < 10^{-4}$	$10.000 < \text{RRF} \leq 100.000$



Penentuan TMEL disesuaikan dengan tingkat keparahan bahaya dan keamanan yang diharapkan oleh perusahaan. Terdapat standar yang mewakili tingkat keparahan yang telah diterjemahkan kedalam angka TMEL. Penjelasan tingkat keparahan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.4.

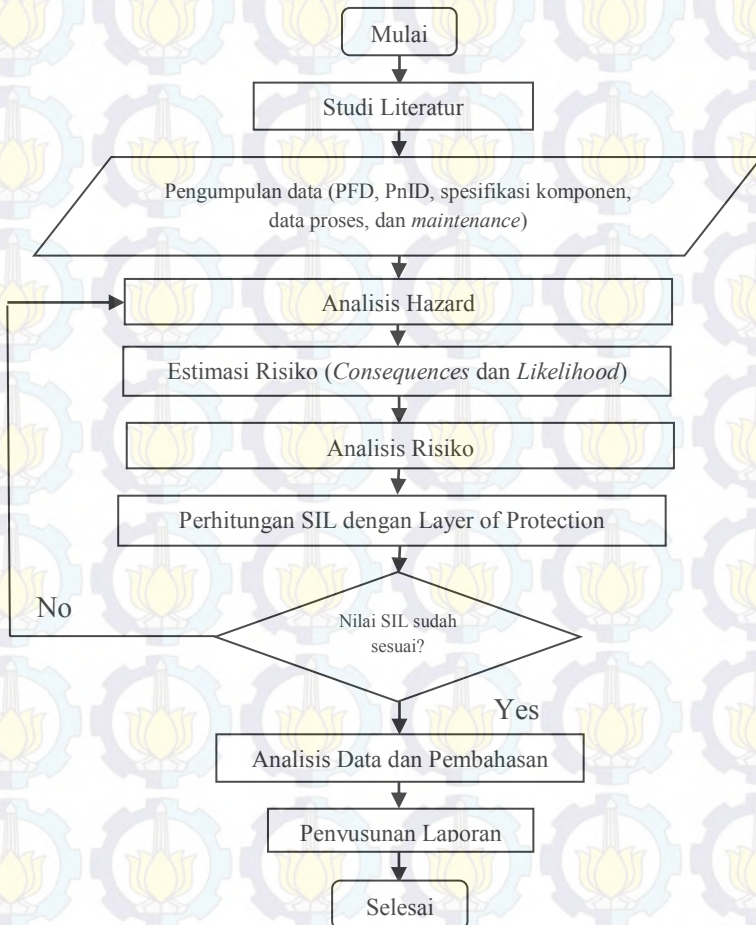
**Table 2.4** *Target Mitigated Event Likelihood* for safety hazards adapted from Nordhagen (2007)<sup>[10]</sup>

<b>Severity Level</b>	<b>Safety consequence</b>	<b>Target mitigated event likelihood</b>
C <sub>A</sub>	<i>Single first aid injury</i>	<i>3.10<sup>-2</sup> per year</i>
C <sub>B</sub>	<i>Multiple first aid injuries</i>	<i>3.10<sup>-3</sup> per year</i>
C <sub>C</sub>	<i>Single disabling injury or multiple serious injuries</i>	<i>3.10<sup>-4</sup> per year</i>
C <sub>D</sub>	<i>Single on-site fatality</i>	<i>3.10<sup>-5</sup> per year</i>
C <sub>E</sub>	<i>More than one and up to three on-site fatalities</i>	<i>1.10<sup>-5</sup> per year</i>

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Langkah-Langkah Penelitian

Tahapan dalam penelitian tugas akhir ini akan dijelaskan pada flowchart di bawah ini.



**Gambar 3.1** Flowchart Penelitian

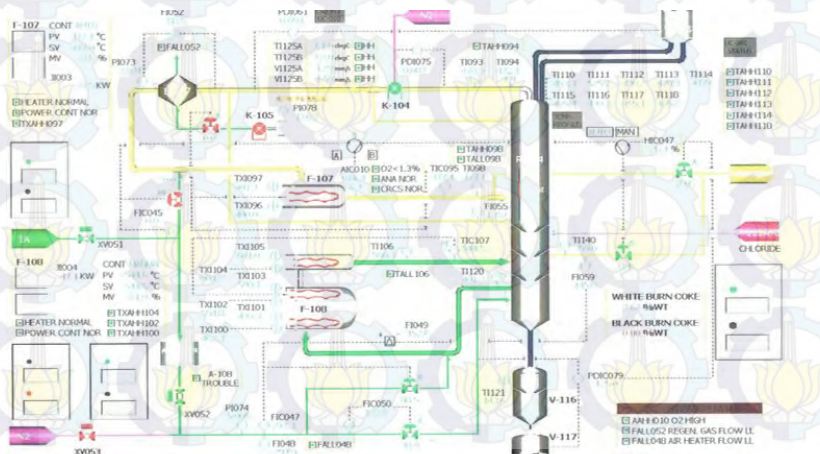
Berdasarkan *flowchart* tersebut, maka dapat dijelaskan langkah-langkah untuk melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### a. Studi Literatur

Studi Literatur ini dilakukan dengan mengumpulkan berbagai teori yang dapat menunjang untuk menyelesaikan pengerjaan tugas akhir. Literatur yang digunakan berasal dari berbagai jurnal-jurnal Internasional, Tugas akhir yang telah dilakukan sebelumnya oleh mahasiswa lain, *manual instruction book* dari tempat pengambilan data, dan berbagai referensi lainnya. Selain studi pustaka, juga dilakukan studi lapangan dimana dilakukan agar dapat mengetahui kondisi real di lapangan, terutama yang berhubungan dengan topik yang diambil dalam tugas akhir.

#### b. Pengumpulan Data

Tahapan ini dilakukan dengan mengumpulkan berbagai macam data yang terkait dengan topik Tugas Akhir yang diambil. Data tersebut berupa data maintenance, data *Process Flow Diagram*, P&ID, serta data manual proses. Gambaran proses yang berkaitan dengan tower regenerasi dapat dilihat dari *screenshot* DCS pada gambar 3.2.



**Gambar 3.2** DCS Screen Tower Regenerasi



Dalam penentuan HAZOP, data yang digunakan tidak hanya data tertulis namun juga data dari hasil wawancara dengan pihak operator proses. Selain itu, beberapa perusahaan memiliki standar tersendiri untuk menentukan tingkat keparahan dari bahaya yang terjadi pada prosesnya begitu juga dengan probabilitasnya. PT. Pertamina Persero adalah salah satu perusahaan yang telah memiliki standar tersebut yang terangkum dalam sebuah *risk matrix*. *Risk matrix* tersebut dikategorikan terhadap empat aspek peninjauan yaitu aspek resiko terhadap manusia, aset, lingkungan, serta reputasi. Keempat aspek tersebut memiliki penilaian yang berbeda-beda terhadap tingkat keparahan dari suatu bahaya. Standar perusahaan terhadap *risk matrix* dapat dilihat pada gambar 3.3 hingga gambar 3.6.

TINGKAT KEPARAHAN	KONSEKUENSI TERHADAP OBJEK	KEMUNGKINAN KEJADIAN (PROBABILITY)				
		A (Terendah)	B	C	D	E (Tertinggi)
	MANUSIA	Tidak pernah terdengar di Industri Migas & Panas Bumi	Pernah terdengar di Industri Migas & Panas Bumi	Pernah terjadi di sebuah industri Migas & Panas Bumi di Indonesia	Terjadi beberapa kali per tahun di sebuah industri Migas & Panas Bumi di Indonesia	Terjadi beberapa kali per tahun di salah satu kegiatan/operasi Perusahaan
0	Tanpa Cedera	R	R	R	R	R
1	Cedera Ringan	R	R	R	R	R
2	Cedera Sedang	R	R	R	M	M
3	Cedera Berat	R	R	M	M	T
4	Fatality	R	M	M	T	T
5	Fatality Ganda	M	M	T	T	T

**Gambar 3.3** Matriks Resiko Terhadap Manusia

TINGKAT KEPARAHAN	KONSEKUENSI TERHADAP OBJEK	KEMUNGKINAN KEJADIAN (PROBABILITY)				
		A (Terendah)	B	C	D	E (Tertinggi)
		Tidak pernah terdengar di Industri Migas & Panas Bumi	Pemah terdengar di Industri Migas & Panas Bumi	Pemah terjadi di sebuah industri Migas & Panas Bumi di Indonesia	Terjadi beberapa kali per tahun di sebuah industri Migas & Panas Bumi di Indonesia	Terjadi beberapa kali per tahun di salah satu kegiatan/op erasi Perusahaan
0	Tanpa Kerusakan	R	R	R	R	R
1	Kerusakan sangat kecil	R	R	R	R	R
2	Kerusakan kecil	R	R	R	M	M
3	Kerusakan sedang	R	R	M	M	T
4	Kerusakan besar	R	M	M	T	T
5	Kerusakan parah	M	M	T	T	T

Gambar 3.4 Matriks Resiko Terhadap Aset

TINGKAT KEPARAHAN	KONSEKUENSI TERHADAP OBJEK	KEMUNGKINAN KEJADIAN (PROBABILITY)				
		A (Terendah)	B	C	D	E (Tertinggi)
		Tidak pernah terdengar di Industri Migas & Panas Bumi	Pemah terdengar di Industri Migas & Panas Bumi	Pemah terjadi di sebuah industri Migas & Panas Bumi di Indonesia	Terjadi beberapa kali per tahun di sebuah industri Migas & Panas Bumi di Indonesia	Terjadi beberapa kali per tahun di salah satu kegiatan/op erasi Perusahaan
0	Tanpa dampak	R	R	R	R	R
1	Dampak ringan	R	R	R	R	R
2	Dampak sedang	R	R	R	M	M
3	Dampak besar (Skala Daerah)	R	R	M	M	T
4	Dampak besar (Skala Nasional)	R	M	M	T	T
5	Dampak luar biasa (Skala Internasional)	M	M	T	T	T

Gambar 3.5 Matriks Resiko Terhadap Lingkungan

TINGKAT KEPARAHAN	KONSEKUENSI TERHADAP OBJEK	KEMUNGKINAN KEJADIAN (PROBABILITY)				
		A (Terendah)	B	C	D	E (Tertinggi)
	CITRA	Tidak pernah terdengar di Industri Migas & Panas Bumi	Pernah terdengar di Industri Migas & Panas Bumi	Pernah terjadi di sebuah industri Migas & Panas Bumi di Indonesia	Terjadi beberapa kali per tahun di sebuah industri Migas & Panas Bumi di Indonesia	Terjadi beberapa kali per tahun di salah satu kegiatan/operasi Perusahaan
0	Tanpa dampak	R	R	R	R	R
1	Dampak ringan	R	R	R	R	R
2	Dampak sedang	R	R	R	M	M
3	Dampak besar (Skala Daerah)	R	R	M	M	T
4	Dampak besar (Skala Nasional)	R	M	M	T	T
5	Dampak luar biasa (Skala Internasional)	M	M	T	T	T

**Gambar 3.6** Matriks Resiko Terhadap Citra

### c. Analisis Hazard

Identifikasi *hazard* dilakukan dengan mengolah data proses dari setiap instrumen yang sudah diambil dan menentukan *guideword*.

Langkah-langkah dalam identifikasi bahaya menggunakan metode HAZOP ini adalah sebagai berikut :

- Menentukan titik studi berdasarkan data P&ID yang telah didapatkan.
- Untuk titik studi yang telah dipilih, ditentukan komponen apa saja yang terdapat pada bagian tersebut, yang mengatur semua proses yang terjadi, dari input sampai menghasilkan output. Komponen-komponen tersebut dapat berupa *control valve*, *flow transmitter*, *temperature transmitter*, *pressure transmitter*, serta komponen *safety* lainnya yang ikut mendukung proses pada *node* tersebut. Penentuan komponen ini didasarkan pada komponen-komponen yang terdapat pada DCS *screens regeneration tower* di PT. Pertamina RU VI.
- Melakukan analisis penyebab-penyebab dari penyimpangan yang telah ditentukan sebelumnya serta akibat yang ditimbulkannya serta *safeguard existing* yang dimiliki oleh sistem dalam satu sistem studi.



#### d. Estimasi Resiko (*Consequences dan Likelihood*)

Resiko ditentukan dari seluruh bahaya yang telah diidentifikasi. Penentuan resiko ini dapat dilakukan dengan cara membaca secara detail jalannya proses melalui data PFD dan P&ID. Selain itu wawancara dengan pihak terkait juga menjadi salah satu sumber validasi dari analisis yang telah dilakukan. Setiap resiko maupun bahaya nantinya dapat diklasifikasikan sesuai dengan tingkat keparahan dan probabilitas masing-masing sesuai dengan data *risk matrix* yang dimiliki oleh PT. Pertamina RU VI Balongan.

#### e. Analisis Resiko

Setelah indentifikasi resiko dan bahaya telah dikategorikan terhadap *risk ranking* masing-masing, maka dilakukan analisis terhadap resiko bahaya yang memiliki *ranking* tinggi. Pengelompokan ini bertujuan untuk memilih bagian mana saja dari proses yang memerlukan analisis lebih lanjut terkait tingkat keamanannya dengan menggunakan metode *Layer of Protection Analysis*.

#### f. Perhitungan SIL

Nilai SIL dihitung dengan menggunakan metode *Layer of Protection Analysis*. LOPA melibatkan perhitungan SIL dari keseluruhan evaluasi layer proteksi yang telah terpasang. Perbedaan metode ini dengan metode perhitungan SIL yang lainnya adalah adanya pertimbangan terhadap nilai dari *passive protection* serta *additional mitigation* dari bahaya yang muncul. Hal tersebut dinilai sebagai sebuah kelebihan dari metode perhitungan ini. Dalam perhitungan SIL dengan metode LOPA terdapat beberapa langkah-langkah perhitungan sesuai standar yang harus diikuti. Berdasarkan standar IEC untuk perhitungan LOPA, nilai PFD untuk *restricted access* meliputi *conditional modifier* seperti *probability of fatal injury* (Ptr), *probability of personal in affected area* (Pp), dan *probability of ignition* (Pi). Nilai *probability of fatal injury* (Ptr) dari proses operasi kontinu

adalah 1 sedangkan sistem yang tidak selalu dioperasikan (bongkar muat, batch proses dan lain-lain) disesuaikan dengan waktu saat proses dalam mode operasi bahaya dengan waktu total sehingga dapat dirumuskan seperti berikut :

$$P_{tr} = \frac{\text{time at risk}}{\text{total time}} \quad (3.1)$$

Nilai *probability of personal in affected area* ( $P_p$ ) terkait dengan adanya waktu personil terpapar atau berada ditempat bahaya dengan waktu total sehingga dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$P_p = \frac{\text{time present to hazards}}{\text{total time}} \quad (3.2)$$

Nilai *probability of ignition* ( $P_i$ ) merujuk pada kemungkinan adanya pelepasan bahaya berupa minyak tumpah/gas berbahaya yang dapat menyebabkan timbulnya ledakan. Perhitungan akhir merupakan hasil perkalian probabilitas seluruh *protection layers* yang ada dan dapat disimpulkan dengan rumus dibawah ini :

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times \dots \times PFD_n \times P_p \times P_i \times P_{tr} \quad (3.3)$$

#### **g. Analisis Data dan Pembahasan**

Tahap ini merupakan tahap akhir yang dilakukan dengan tujuan untuk memberikan rekomendasi dari hasil yang telah dikerjakan dalam tugas akhir. Dalam hal ini, rekomendasi yang akan diberikan adalah terkait peningkatan nilai SIL dari plan dengan cara mengevaluasi *Safety Instrumented System* (SIS) dari plan yang sudah dibangun. Bagian akhir dari seluruh analisis adalah dengan memberikan kesimpulan yang dapat menjawab tujuan dan menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam topik tugas akhir ini.

#### **h. Penyusunan Laporan**

Laporan disusun sesuai dengan semua hasil yang telah dikerjakan mulai dari tahap awal hingga tahap akhir evaluasi.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB IV**

### **ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

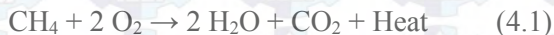
#### **4.1 Analisis Risiko**

Sebelum menentukan resiko apa saja yang mungkin terjadi dari proses, diperlukan adanya pengetahuan lebih terkait dengan detail jalannya proses tersebut dimulai dari input yang dibutuhkan hingga output yang dihasilkan. Detail dari jalannya proses tersebut diperlukan untuk menentukan bahaya-bahaya apa saja yang mungkin terjadi. Analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini merupakan analisis dari jalannya proses pada *regeneration tower* yang merupakan tempat terjadinya proses regenerasi katalis.

Regenerasi katalis terdiri dari empat langkah. Tiga langkah pertama-pembakaran coke, oksidasi, dan pengeringan terjadi dalam tower regenerasi. Langkah keempat, reduksi, terjadi dalam zona reduksi pada bagian yang lebih atas dari susunan reaktor. Langkah ini terjadi pada tower regenerasi.

##### **4.1.1 Zona Pembakaran/Zona Reheat**

Pembakaran coke pada katalis terjadi dalam zona pembakaran pada bagian atas tower regenerasi. Katalis memasuki dan mengalir ke arah bawah suatu bagian berbentuk silinder dengan posisi vertikal serta mengarah ke dalam. Gas regenerasi yang panas, mengandung oksigen dengan konsentrasi rendah, mengalir secara radial dari bagian luar ke bagian dalam tower regenerasi. Pembakaran coke terjadi ketika katalis bergerak kebawah dalam tower tersebut. Pembakaran coke harus selesai ketika katalis keluar dari zona pembakaran. Reaksi pembakaran coke berlangsung dengan oksigen, menghasilkan karbon dioksida dan air serta sejumlah panas.



Reaksi ini diperlukan untuk mengeluarkan coke dari katalis, tetapi reaksi ini dapat dengan mudah merusak katalis. Reaksi ini juga akan menaikkan temperatur katalis, dan tingginya temperatur meningkatkan resiko suatu kerusakan permanen pada katalis. Oleh sebab itu pembakaran harus dikendalikan. Hal ini dilakukan

dengan mengendalikan kandungan oksigen selama pembakaran. Pembakaran yang sempurna sangat dipengaruhi oleh *flow rate* dari oksigen. Rasio dari *flow rate* oksigen dan bahan bakar yang tepat diperlukan untuk mendapatkan hasil pembakaran yang sempurna. Pembakaran yang sempurna menjadi faktor yang paling diperhatikan dalam keberhasilan proses zona pembakaran.

Dari keseluruhan data PFD, P&ID, serta hasil wawancara dengan pihak operator yang menangani proses terkait, hasil analisis *cause and consequences* dari bahaya dapat dididata pada sebuah tabel HAZOP seperti yang telah dijelaskan pada tinjauan pustaka. Kategori tabel tersebut antara lain adalah *guide words*, *deviation*, *cause*, dan juga *consequences*. Analisis dari *cause* dan *consequences* dari siklus oksigen pada proses yang terjadi dalam zona pembakaran dapat dilihat pada tabel 4.1 sedangkan nilai *risk ranking* dari analisis tersebut ditampilkan pada tabel 4.2.

**Tabel 4.1** Analisis *Cause and Consequences* Siklus O<sub>2</sub>

Instrument Component	Guide Words	Deviation	Cause	Possible Consequences
TT094 (O <sub>2</sub> )	Low	Low Temperature	TV-095 failed to close, FV-045 failed to close	Combustion failed
	High	High Temperature	PDV 079 failed to open	Overpressure at regeneration tower, Overheating which cause catalyst to clot, Trip system, No O <sub>2</sub> flow to venturi scrubber
FT052 (O <sub>2</sub> )	Flow	No Flow	Blower failed	Failed of burning zone process, Unoptimal Combustion
	Less	Less Flow	Unoptimal blower works	Potential to increase reheat zone temperature
	More	More Flow	Blower failed	High reheat zone temperature which cause catalyst to clot
TT098 (O <sub>2</sub> )	Low	Low Temperature	TV-095 failed to close, FV-045 failed to close	Failed of burning zone process
	High	High Temperature	PDV 079 failed to open	Overpressure of regeneration tower, Overheating which cause catalyst to clot, Trip system



**Tabel 4.2** Analisis *Risk Ranking* Siklus O<sub>2</sub>

Possible Consequences	S	P	R	Consequences Classification	Existing Safeguard
Combustion failed	0	C	R	Injury	Develop SOP, Stand by operator
	4	C	M	Asset	
	0	C	R	Environment	
	1	C	R	Reputation	
Overpressure at regeneration tower, Overheating which cause catalyst to clot, Trip system, No O <sub>2</sub> flow to venturi scrubber	0	C	R	Injury	Alarm temperature HH
	5	C	T	Asset	
	1	C	R	Environment	
	2	C	R	Reputation	
Failed of burning zone process, Unoptimal Combustion	0	E	R	Injury	Alarm flow LL
	5	E	T	Asset	
	0	E	R	Environment	
	1	E	R	Reputation	
Potential to increase reheat zone temperature	0	E	R	Injury	Alarm flow LL
	2	E	M	Asset	
	0	E	R	Environment	
	1	E	R	Reputation	
High reheat zone temperature which cause catalyst to clot	0	E	R	Injury	Develop SOP, Stand by operator
	5	E	T	Asset	
	0	E	R	Environment	
	1	E	R	Reputation	
Failed of burning zone process	0	C	R	Injury	Alarm temperature LL
	4	C	M	Asset	
	0	C	R	Environment	
	1	C	R	Reputation	
Overpressure of regeneration tower, Overheating which cause catalyst to clot, Trip system	0	C	R	Injury	Alarm temperature HH
	5	C	T	Asset	
	1	C	R	Environment	
	2	C	R	Reputation	

#### 4.1.2 Zona klorinasi

Oksidasi dan dispersi metal pada katalis, dan pengendalian kandungan klorida pada struktur katalis terjadi pada zona klorinasi. Zona klorinasi berlokasi dibawah zona pembakaran/zona reheat. Katalis mengalir kebawah memasuki zona klorinasi dari zona

pembakaran. Udara panas dari zona pengeringan dibagian bawah mengalir keatas sampai pada daerah zona klorinasi. Pada titik ini, klorida organik dialirkan ke gas tersebut melalui suatu distributor. Gas klorinasi kemudian mengalir keatas dan keluar kearah zona pembakaran.

Terlalu banyak atau terlalu kecil klorida akan mempunyai efek yang tidak diinginkan pada reaktor platforming. Pada operasi normal, kandungan klorida katalis teroksidasi dijaga antara 1,1-1,3 wt-% klorida, tergantung pada keadaan katalis. Interval ini merupakan nilai yang optimum untuk menjaga fungsi asam pada katalis tersebut.

Reaksi-reaksi oksidasi dan dispersi yang terjadi pada metal dalam proses zona klorinasi dapat disimpulkan sebagai berikut :



Hasil analisis HAZOP terhadap cause dan consequences dari siklus klorid pada proses klorinasi ditunjukkan pada tabel 4.3 sedangkan *risk ranking* dari analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.4.

**Tabel 4.3** Analisis *Cause and Consequences* Siklus Klorid

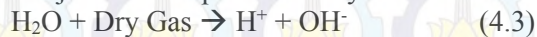
Instrument Component	Guide Words	Deviation	Cause	Possible Consequences
FT058 (Klorid)	No	No Flow	P-112A/E failed, XV 055 failed to open	Clorination process failed
	Less	Less Flow	Unoptimal works of P-112A/E, XV 055 failed to completely open (blinking)	Clorination process failed

**Tabel 4.4** Analisis *Risk Ranking* Siklus Klorid

Possible Consequences	S	P	R	Consequences Classification	Existing Safeguard
Chlorination process failed	0	E	R	Injury	Develop SOP, Stand by operator
	5	E	T	Asset	
	0	E	R	Environment	
	1	E	R	Reputation	
	0	E	R	Injury	Develop SOP, Stand by operator
	5	E	T	Asset	
	0	E	R	Environment	
	1	E	R	Reputation	

#### 4.1.3 Zona Pengeringan

Pengeringan katalis terjadi pada zona pengeringan yang terletak dibawah zona klorinasi. Kelebihan uap air berasal dari langkah pembakaran coke. Dalam zona pengeringan katalis dengan kandungan uap air mengalami reaksi dengan udara kering untuk memecah H<sub>2</sub>O menjadi ion-ion pembentuknya.



Jika katalis yang memasuki reaktor platforming lebih kering, unjuk kerja katalis secara keseluruhan akan lebih baik. Langkah pengeringan ini dibantu oleh temperatur tinggi, waktu pengeringan yang lama, dan laju alir pembakaran gas yang sesuai untuk memastikan distribusi gas yang baik dan kecukupan jumlah panasnya.

Gas pengeringan panas mengalir keatas dari zona pendinginan. Gas pengering berupa udara yang berasal dari IA (*Instrument Air*). Kedua gas tersebut dikeringkan sampai kandungan uap airnya sangat rendah, sebelum memasuki tower regenerasi. Pemanas udara memanaskan gas sampai temperatur inlet yang sesuai. Gas dari zona pendinginan bersifat panas karena sebelumnya dipanaskan melalui pertukaran panas dengan katalis panas pada zona tersebut. Pemanasan awal (*preheat*) ini mengurangi beban bersih pada pemanas udara (*air heater*). Dari zona pengeringan udara pengering terpisah menjadi 2 aliran, yang



satu memasuki zona klorinasi dan yang lainnya keluar tower regenerasi. Pemisahan tergantung pada jumlah udara yang diperlukan untuk pembakaran coke. Laju alir udara yang diperlukan memasuki zona klorinasi. Kelebihan udara keluar langsung dari tower regenerasi. Hasil analisis *cause* dan *consequences* dari siklus *dry air* pada zona pengeringan ditunjukkan pada tabel 4.5 sedangkan hasil *risk ranking* dari analisis tersebut dapat dilihat pada tabel 4.6.

**Tabel 4.5** Analisis *Cause and Consequences* Siklus *Dry Air*

Instrument Component	Guide Words	Deviation	Cause	Possible Consequences
TT106 (Air)	High	High Temperature	FV 050 failed to open, FV 047 failed to open	Overheating of drying zone process, Potential cause catalyst to clot
	Low	Low Temperature	XV 053 failed to close	Failed of drying and cooling zone process
FT048 (Air)	No	No Flow	XV 051 failed to open, XV 052 failed to open	Failed of cooling zone process, Air heater fails to work, Failure of drying zone process
	Less	Less Flow	XV 051 failed to completely open (blinking), XV 052 failed to completely open (blinking)	Unoptimal work of air heater, Unoptimal work of dring zone process, Unoptimal work of cooling zone process

**Tabel 4.6** Analisis *Risk Ranking* Siklus *Dry Air*

Possible Consequences	S	P	RR	Consequences Classification
Overheating of drying zone process, Potential cause catalyst to clot	0	C	R	Injury
	2	C	R	Asset
	1	C	R	Environment
	2	C	R	Reputation
Failed of drying and cooling zone process	0	C	R	Injury
	4	C	M	Asset
	0	C	R	Environment
Failed of cooling zone process, Air heater fails to work, Failure of drying zone process	1	C	R	Reputation
	0	C	R	Injury
	4	C	M	Asset
	0	C	R	Environment
Unoptimal work of air heater, Unoptimal work of dring zone process, Unoptimal work of cooling zone process	1	C	R	Reputation
	0	C	R	Injury
	2	C	R	Asset
	0	C	R	Environment
	1	C	R	Reputation

#### 4.1.4 Zona Pendinginan

Zona pendinginan berfungsi ganda, yaitu untuk pendinginan katalis, dan pemanasan pendahuluan sebagian dari udara sebelum mengalir ke zona pengeringan. Zona pendinginan terletak dibawah zona pengeringan. Katalis turun kebawah melalui silinder, dan keluar tower regenerasi. Gas pendingin adalah udara dari pengering udara (*air dryer*). Gas keluar dari zona tersebut dan bercampur dengan IA (*instrument air*) dari pengering udara kemudian memasuki pemanas udara sebelum ke zona pengeringan. Pemisahan antara udara yang mengalir pada zona pendinginan dan zona pengeringan menentukan temperatur katalis yang keluar tower regenerasi.

#### 4.2 Analisis HAZOP

Seluruh analisis HAZOP yang telah dilakukan menunjukkan hasil bahwa risiko bahaya yang dapat terjadi pada *regeneration tower* terbagi menjadi tiga kategori dengan presentase yang berbeda-beda yaitu :

Rendah = 15,38 %  
Menengah = 38,46 %  
Tinggi = 46,15 %

Presentase diatas menyatakan bahwa *risk ranking* dengan kategori tinggi memiliki presentase lebih besar dibandingkan dengan kategori yang lainnya. Oleh sebab itu rekomendasi berupa pemasangan tambahan alarm dan penerapan prosedur *predictive maintenance* dapat diberikan terkait dari keseluruhan hasil analisis HAZOP yang telah dilakukan.

#### 4.3 Layer of Protection Analysis

*General process design* umumnya dapat digolongkan sebagai salah satu IPLs namun dengan probabilitas kegagalan ya tergolong kecil. Pada kasus tertentu dapat diputuskan bahwa desain yang diinginkan perusahaan memiliki kegagalan satu kali dalam sepuluh tahun sehingga nilainya sebesar 0.1.

*Basic Process Control System* (BPCS) digunakan sebagai salah satu *protection layers* untuk mengevaluasi jalan *access control* dan sistem keamanan yang memiliki pengaruh yang besar karena kesalahan manusia. Nilai PFD rata-rata kegagalan BPCS yang diizinkan oleh standar maksimal IEC 61511 yang terlampir pada data *Center for Chemical Process Safety* (CCPS) 2001 adalah 0.1.

Alarm merupakan level perlindungan kedua selama operasi normal yang harus diaktifkan oleh BPCS dimana juga pada umumnya sangat bergantung pada campur tangan dari operator didalamnya. Nilai PFD dari respon terhadap alarm adalah 1 jika operator merespon keadaan bahaya tidak lebih dari kurun waktu selama 10 menit (CCPS 2001).

*Additional Mitigation Layer*, umumnya bersifat mekanikal, structural atau procedural dimana dapat mencegah atau menjaga kemungkinan kejadian bahaya awal.



### 4.3.1 Perhitungan LOPA

**Impact Event Description** : Combustion failed, failed of burning zone process

**Initiating Cause (1)** : FV-045 failed to close

**ICL** : **0.681141**

- $\lambda/\text{Jam}$  =  $1.3 \times 10^{-4}$  (data *maintenance*)
- $\lambda/\text{Thn}$  =  $1.3 \times 10^{-4} \times 24 \times 365 = 1.143/\text{thn}$
- Reliability (R) =  $e^{-\lambda t}$  (t = 1 tahun) sehingga diperoleh 0.319
- ICL =  $1 - R = \mathbf{0.681141}$

Layer Proteksi :

- Desain Proses = 0.1
- BPCS = 0.1
- Alarm = 1
- *Additional mitigation restricted access* :
  - \* Probability of Fatal Injury ( $P_{tr}$ ) = 1 (Operasi kontinyu)
  - \* Probability of Personnal in Affected Area ( $P_p$ )

$$P_p = \frac{\text{time present to hazards}}{\text{total time}} = \frac{60 \text{ menit}}{120 \text{ menit}} = 0.5$$

- *Additional mitigation Dike (Bunds), PRV* = 0.01

$$\mathbf{IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times \dots \times PFD_n \times P_p \times P_i \times P_{tr}}$$

$$\text{IEL} = 0.681141 \times 0.1 \times 0.1 \times 1 \times (1 \times 0.5) \times 0.01$$

$$\text{IEL} = 3.40571 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = \frac{\text{TMEL}}{\text{IEL}} \text{ dengan TMEL} = 1 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = 1 \times 10^{-5} / 3.40571 \times 10^{-5} = 0.293625$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA diatas nilai SIL adalah **SIL 0**

### 4.4 Rekomendasi Peningkatan SIL

Hasil perhitungan SIL dengan metode LOPA menunjukkan bahwa SIL sistem berada pada kategori SIL 0. Atas dasar itu maka dibutuhkan perhitungan untuk meningkatkan nilai SIL menjadi SIL 1. Peningkatan nilai SIL dapat dilakukan dengan cara evaluasi dari konfigurasi SIS yang ada pada sistem. Konfigurasi tersebut adalah bentuk kombinasi dari SIS yang terdiri dari *transmitter*, *logic solver*, dan *final element*.

Langkah awal untuk membuat kombinasi dari konfigurasi ini adalah dengan cara menghitung *failure rate* dan *Probability Failure on Demand* dari setiap komponen dimana hasilnya akan menunjukkan hasil dari nilai SIL komponen tersebut. Hasil perhitungan dari konfigurasi *channel* dari *sensing element* dapat dilihat pada tabel 4.7, sedangkan untuk konfigurasi final element ditampilkan pada tabel 4.8.

**Tabel 4.7** Konfigurasi *Sensing Element*

Sensing Element	FT-052		TT-094		TT-098		TT-106	
$\lambda$	8.59107E-05		8.59107E-05		8.58222E-05		8.56108E-05	
Konfigurasi	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
1oo1	2.E-01	0	2.E-01	0	2.E-01	0	2.E-01	0
1oo2	4.E-02	1	4.E-02	1	4.E-02	1	4.E-02	1
1oo3	7.E-03	2	7.E-03	2	7.E-03	2	7.E-03	2
2oo2	4.E-01	0	4.E-01	0	4.E-01	0	4.E-01	0
2oo3	1.E-01	0	1.E-01	0	1.E-01	0	1.E-01	0
2oo4	3.E-02	1	3.E-02	1	3.E-02	1	3.E-02	1

**Tabel 4.8** Konfigurasi *Final Element*

Final Element	XV-051		XV-052		XV-053		XV-055	
$\lambda$	0.000079719		0.000079719		0.000079719		0.00010391	
Konfigurasi	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL	PFD	SIL
1oo1	2.E-01	0	2.E-01	0	2.E-01	0	2.E-01	0
1oo2	4.E-02	1	4.E-02	1	4.E-02	1	7.E-02	1
1oo3	1.E-02	1	1.E-02	1	1.E-02	1	2.E-02	1
2oo2	3.E-01	0	3.E-01	0	3.E-01	0	5.E-01	0
2oo3	1.E-01	0	1.E-01	0	1.E-01	0	2.E-01	0
2oo4	4.E-02	1	4.E-02	1	4.E-02	1	9.E-02	1

Untuk mendapatkan nilai SIL 1 dari sistem, dibutuhkan adanya perhitungan kombinasi dari konfigurasi yang telah didapatkan pada tabel 4.7 dan tabel 4.8. Kombinasi dari konfigurasi yang ada pada *sensing element* dan *final element* ditampilkan pada tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Kombinasi Konfigurasi dengan hasil SIL 1

Sensing Element		Final Element		Rekomendasi
Konfigurasi	SIL	Konfigurasi	SIL	SIL
1002	1	1002	1	1
1002	1	1003	1	1
1002	1	2004	1	1
1003	2	1002	1	1
1003	2	1003	1	1
1003	2	2004	1	1
2004	1	1002	1	1
2004	1	1003	1	1
2004	1	2004	1	1

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, konfigurasi minimal untuk menaikkan nilai SIL adalah dengan kombinasi 1002 untuk *sensing element* dan 1002 untuk *final element*. Rekomendasi ini juga mempertimbangkan dampak keuangan yang harus dikeluarkan perusahaan dalam memberikan sistem *safety* yang tepat dan mencukupi. Oleh sebab itu kombinasi yang paling tepat untuk digunakan adalah kombinasi dengan konfigurasi yang paling kecil dibandingkan dengan kombinasi lainnya agar biaya yang dikeluarkan juga tidak terlalu besar. PFD sistem dari hasil konfigurasi *sensing element* 1002 dan *final element* 1002 adalah sebagai berikut :

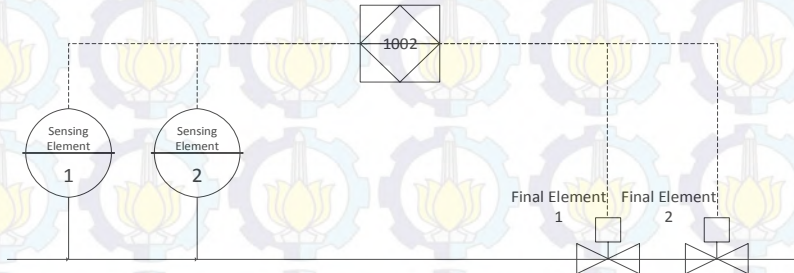
$$\text{PFDs} = \text{PFDse} + \text{PFDls} + \text{PFDfe}$$

$$\text{PFDs} = 0.000085814 + 0.0000143 + 0.000085767$$

$$\text{PFDs} = \mathbf{0.099879042 \text{ (SIL 1)}}$$



Hasil rekomendasi menunjukkan bahwa dibutuhkan dua *transmitter* dan dua *control valve* yang dipasang secara paralel. Kedua komponen tersebut dipasang secara paralel dengan tujuan untuk meningkatkan nilai keandalan dari sistem. Gambar dari hasil rekomendasi ditunjukkan pada gambar 4.2.



**Gambar 4.1** *Sensing Element 1002 – Final Element 1002*



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

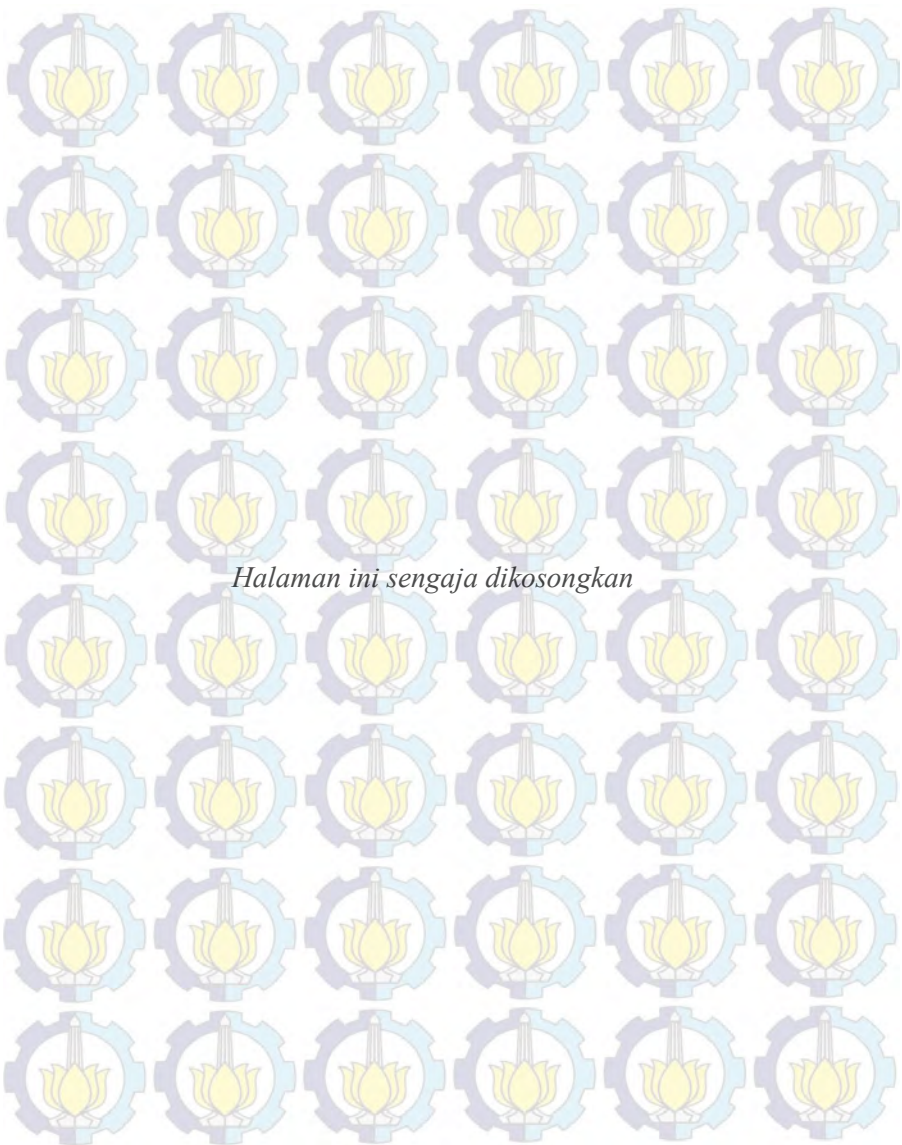
- Seluruh input proses yang memberikan pengaruh besar terhadap jalannya sistem *regeneration tower* memiliki resiko bahaya dengan tiga kategori *risk ranking* yaitu 15,38 % untuk kategori rendah, 38,6 % untuk kategori medium, dan 46,15 % untuk kategori tinggi.
- Perhitungan nilai SIL yang telah dilakukan dengan metode LOPA menunjukkan angka SIL 0 untuk seluruh loop sistem yang mewakili jalannya proses.
- Rekomendasi berupa kombinasi dari konfigurasi arsitektur SIS dapat dilakukan untuk menaikkan nilai SIL 0 menjadi SIL 1 dengan memberikan kombinasi konfigurasi yang sama untuk *sensing element* dan *final element* yaitu 1oo2.

#### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berkaitan dengan keamanan sistem pada tower regenerasi yaitu :

- Penerapan *preventive maintenance* akan sangat bermanfaat untuk bisa mendeteksi lebih awal dari ketidaksesuaian jalannya proses yang disebabkan oleh kegagalan/kerusakan alat instrumentasi yang terpasang sehingga dapat mereduksi nilai *failure rate* dari seluruh komponen instrumentasi yang terpasang.
- Pencatatan data *logsheet* dapat dilakukan setiap satu jam sekali agar didapatkan record data proses yang lebih akurat sehingga penyimpangan yang terjadi dalam proses selalu dapat terdeteksi lebih awal.

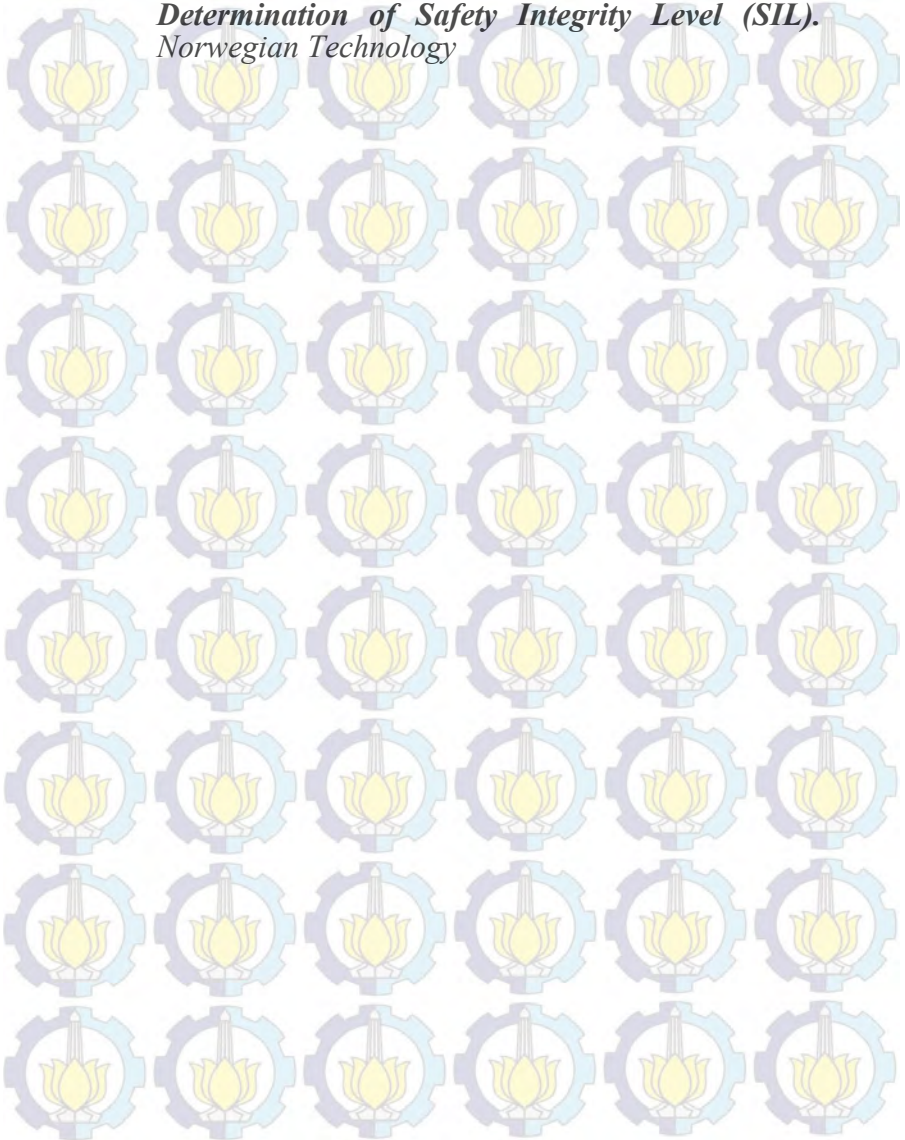




## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rohman, Bahtaria, dkk. 2013. **Analisa Kinerja Sistem Shutdown Valve pada Sistem Perpipa-an untuk Proses Loading dan Unloading di Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan.** Jurnal Teknik POMITS Vol 2. ITS. Surabaya
- [2] Mohammad, S. Mahmoudi, A. Kianfar. 2012. ***Comparative safety assessment of chlorination unit in Tehran treatment plants with HAZOP & ETBA techniques.*** ScienceDirect. Hal 27-30
- [3] PT. Pertamina RU VI Balongan. ***Handbook of Pertamina CCR Naptha Process Unit Regeneration Section.*** Basis Design PT Pertamina
- [4] PT. Pertamina RU VI Balongan. ***Handbook of Pertamina CCR Naptha Process Unit Regeneration Section.*** Description of Process PT Pertamina
- [5] Robert W. Johnson. 2010. ***Beyond-compliance uses of HAZOP/LOPA studies.*** ScienceDirect. Hal 727-733
- [6] Pujianto. Justian. 2015. ***Evaluation Safety Integrity Level Using Layer of Protection Analysis in Recycle Gas First Stage Cycle Compressor at PT. Pertamina Persero.*** Australian Journal of Basic and Applied Science
- [7] ANSI/ISA-TR84.02. 2002. ***Safety Instrumented Functions (SIF) – Safety Integrity Level (SIL) Evaluation Texhniques Part 1: Introduction.*** Research Triangle Park, NC: American National Standard Institute.
- [8] ANSI/ISA-TR84.02. 2002 Part 3. ***Safety Instrumented Function (SIF) – Safety Integrity Level (SIL) Evaluation Technique Part 3.*** American National Standard Institute.
- [9] Pradana, Revina. 2014. **Studi HAZOP pada Sistem Distribusi BBM Instalasi Surabaya Group (ISG) PT. Pertamina Tanjung Perak Berbasis Fuzzy Layer of Protection Analysis (FLOPA).** IEEE Journal.
- [10] *University of Science and Christopher A. Lassen.*

2008. *Layer of Protection Analysis (LOPA) for  
Determination of Safety Integrity Level (SIL).*  
Norwegian Technology





## LAMPIRAN A

**Tabel Worksheet Layer of Protection Analysis**

1	2	3	4	Protection Layers (PLs)					8	9	10	
Impact event Description	Severity level	Initiating Cause	Initiation Likelihood	General Process Design	BPCS	Alarms, Etc.	Additional Mitigation, Restricted Access	Additional Mitigations Dike (Bunds), Pressure Relief	Intermediate Event Likelihood (IEL1 = ICL x PFDMAWP x PFDPCV x PFDPSV x Pi x Pp x Ptr)	Target Mitigated Event Likelihood (TMEL)	PFD = TMEL/IELt	SIL (determined by ratio of TMEL and IELt)
Langkah 1	Langkah 2	Langkah 3	Langkah 3	Langkah 4	Langkah 4	Langkah 4	Langkah 5	Langkah 6	Langkah 7	Langkah 8	Langkah 9	Langkah 10
Combustion failed, failed of burning zone process	4	FV-045 failed to close	0.681141	0.1	0.1	1	0.5	0.01	3.40571E-05	0.00001	0.29362496	<b>SIL 0</b>
	4	TV-095 failed to close	0.5766253	0.1	0.1	1	0.5	0.01	2.88313E-05	0.00001	0.34684569	<b>SIL 0</b>

1	2	3	4	Protection Layers (PLs)					8	9	10	
Impact event Description	Severity level	Initiating Cause	Initiation Likelihood	General Process Design	BPCS	Alarms, Etc.	Additional Mitigation, Restricted Access	Additional Mitigations Dike (Bunds), Pressure Relief	Intermediate Event Likelihood (IEL1 = ICL x PFDMAWP x PFDPCV x PFDPSV x Pi x Pp x Ptr)	Target Mitigated Event Likelihood (TMEL)	PFD = TMEL/IEL1	SIL (determined by ratio of TMEL and IEL1)
Langkah 1	Langkah 2	Langkah 3	Langkah 3	Langkah 4	Langkah 4	Langkah 4	Langkah 5	Langkah 6	Langkah 7	Langkah 8	Langkah 9	Langkah 10
Overpressure at regeneration tower, Overheating which cause catalyst to clot, Trip system, Catalyst crashed, No O2 flow to venturi scrubber, Can't move catalyst to lookhooper	5	PDV 079 failed to open	0.7364487	0.1	0.1	1	0.5	0.01	3.68224E-05	0.00001	0.27157357	SIL 0

1	2	3	4	Protection Layers (PLs)					8	9	10	
Impact event Description	Severity level	Initiating Cause	Initiation Likelihood	General Process Design	BPCS	Alarms, Etc.	Additional Mitigation, Restricted Access	Additional Mitigations Dike (Bunds), Pressure Relief	Intermediate Event Likelihood (IEL1 = ICL x PFDMAWP x PFDPCV x PFDPSV x Pi x Pp x Ptr)	Target Mitigated Event Likelihood (TMEL)	PFD = TMEL/IEL1	SIL (determined by ratio of TMEL and IEL1)
Langkah 1	Langkah 2	Langkah 3	Langkah 3	Langkah 4	Langkah 4	Langkah 4	Langkah 5	Langkah 6	Langkah 7	Langkah 8	Langkah 9	Langkah 10

Overheating of drying zone process, Potential cause catalyst to clot	2	FV050 failed to open	0.3428686	0.1	0.1	1	0.5	0.01	1.71434E-05	0.00001	0.58331387	<b>SIL 0</b>
	2	FV047 failed to open	0.7013877	0.1	0.1	1	0.5	0.01	3.50694E-05	0.00001	0.285149	<b>SIL 0</b>
Failed of drying and cooling zone process	4	XV053 failed to close	0.5025906	0.1	1	0.1	0.5	0.01	2.51295E-05	0.00001	0.39793821	<b>SIL 0</b>



1	2	3	4	Protection Layers (PLs)					8	9	10	
Impact event Description	Severity level	Initiating Cause	Initiation Likelihood	General Process Design	BPCS	Alarms, Etc.	Additional Mitigation, Restricted Access	Additional Mitigations Dike (Bunds), Pressure Relief	Intermediate Event Likelihood (IEL1 = ICL x PFDMAWP x PFDPCV x PFDPSV x Pi x Pp x Ptr)	Target Mitigated Event Likelihood (TMEL)	PFD = TMEL/IEL1	SIL (determined by ratio of TMEL and IEL1)
Langkah 1	Langkah 2	Langkah 3	Langkah 3	Langkah 4	Langkah 4	Langkah 4	Langkah 5	Langkah 6	Langkah 7	Langkah 8	Langkah 9	Langkah 10
Failed of cooling zone process, Air heater fails to work, Failure of drying zone process	4	XV 051 failed to open	0.5025906	0.1	1	0.1	0.5	0.01	2.51295E-05	0.00001	0.39793821	SIL 0
	4	XV 052 failed to open	0.5025906	0.1	1	0.1	0.5	0.01	2.51295E-05	0.00001	0.39793821	SIL 0
Clorination Process Failed	5	XV 055 failed to open	0.5975662	0.1	1	0.1	0.5	0.01	2.98783E-05	0.00001	0.33469095	SIL 0

## LAMPIRAN B

### Perhitungan *Layer of Protection Analysis*

- a. **Impact Event Description** : Combustion failed, failed of burning zone process

**Initiating Cause (1)** : FV-045 failed to close

**ICL** : **0.681141**

- $\lambda/\text{Jam}$  =  $1.3 \times 10^{-4}$  (data *maintenance*)
- $\lambda/\text{Thn}$  =  $1.3 \times 10^{-4} \times 24 \times 365 = 1.143/\text{thn}$
- Reliability (R) =  $e^{-\lambda t}$  (t = 1 tahun) sehingga diperoleh 0.319
- ICL =  $1 - R = \mathbf{0.681141}$

Layer Proteksi :

- Desain Proses = 0.1
- BPCS = 0.1
- Alarm = 1
- *Additional mitigation restricted access* :

\* Probability of Fatal Injury ( $P_{tr}$ ) = 1 (Operasi kontinyu)

\* Probability of Personnal in Affected Area ( $P_p$ )

$$P_p = \frac{\text{time present to hazards}}{\text{total time}} = \frac{60 \text{ menit}}{120 \text{ menit}} = 0.5$$

- *Additional mitigation Dike (Bunds), PRV* = 0.01

$$\mathbf{IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times \dots \times PFD_n \times P_p \times P_i \times P_{tr}}$$

$$\text{IEL} = 0.681141 \times 0.1 \times 0.1 \times 1 \times (1 \times 0.5) \times 0.01$$

$$\text{IEL} = 3.40571 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = \frac{\text{TMEL}}{\text{IEL}} \text{ dengan TMEL} = 1 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = 1 \times 10^{-5} / 3.40571 \times 10^{-5} = 0.293625$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA diatas nilai SIL adalah **SIL 0**

**Initiating Cause (2)** : TV-095 failed to close

**ICL : 0.5766253**

- $\lambda/\text{Jam}$  =  $9.8 \times 10^{-5}$  (data *maintenance*)
- $\lambda/\text{Thn}$  =  $9.8 \times 10^{-5} \times 24 \times 365 = 0.859/\text{thn}$
- Reliability (R) =  $e^{-\lambda t}$  (t = 1 tahun) sehingga diperoleh 0.423
- ICL =  $1 - R = \mathbf{0.5766253}$

Layer Proteksi :

- Desain Proses = 0.1
- BPCS = 0.1
- Alarm = 1
- *Additional mitigation restricted access :*
  - \* Probability of Fatal Injury ( $P_{tr}$ ) = 1 (Operasi kontinyu)
  - \* Probability of Personnal in Affected Area ( $P_p$ )

$$P_p = \frac{\text{time present to hazards}}{\text{total time}} = \frac{60 \text{ menit}}{120 \text{ menit}} = 0.5$$

- *Additional mitigation Dike (Bunds), PRV = 0.01*

$$\begin{aligned} \text{IEL} &= \text{ICL} \times \text{PFD}_1 \times \text{PFD}_2 \times \dots \times \text{PFD}_n \times P_p \times P_i \times P_{tr} \\ \text{IEL} &= 0.5766352 \times 0.1 \times 0.1 \times 1 \times (1 \times 0.5) \times 0.01 \\ \text{IEL} &= 2.88313 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

$$\text{Rasio LOPA} = \frac{\text{TMEL}}{\text{IEL}} \text{ dengan TMEL} = 1 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = 1 \times 10^{-5} / 2.88313 \times 10^{-5} = 0.3468457$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA diatas nilai SIL adalah **SIL 0**

- b. **Impact Event Description** : Overpressure at regeneration tower, Overheating which cause catalyst to clot, Trip system, Catalyst crashed, No O2 flow to venturi scrubber, Can't move catalyst to lookhooper

**Initiating Cause** : PDV-079 failed to open

**ICL : 0.736449**

- $\lambda/\text{Jam}$  =  $1.5 \times 10^{-4}$  (data *maintenance*)
- $\lambda/\text{Thn}$  =  $1.5 \times 10^{-4} \times 24 \times 365 = 1.3335/\text{thn}$
- Reliability (R) =  $e^{-\lambda t}$  (t = 1 tahun) sehingga diperoleh 0.2635
- ICL =  $1 - R = \mathbf{0.736449}$



Layer Proteksi :

- Desain Proses = 0.1
- BPCS = 0.1
- Alarm = 1
- *Additional mitigation restricted access :*
  - \* Probability of Fatal Injury ( $P_{tr}$ ) = 1 (Operasi kontinyu)
  - \* Probability of Personnal in Affected Area ( $P_p$ )

$$P_p = \frac{\text{time present to hazards}}{\text{total time}} = \frac{60 \text{ menit}}{120 \text{ menit}} = 0.5$$

- *Additional mitigation Dike (Bunds), PRV = 0.01*

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times \dots \times PFD_n \times P_p \times P_i \times P_{tr}$$

$$IEL = 0.736449 \times 0.1 \times 0.1 \times 1 \times (1 \times 0.5) \times 0.01$$

$$IEL = 3.68224 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = \frac{TMEL}{IEL} \text{ dengan } TMEL = 1 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = 1 \times 10^{-5} / 3.68224 \times 10^{-5} = 0.271574$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA diatas nilai SIL adalah **SIL 0**

c. **Impact Event Description** : Overheating of drying zone process, Potential cause catalyst to clot

**Initiating Cause (1)** : FV-050 failed to open

**ICL** : **0.342869**

- $\lambda/\text{Jam}$  =  $6.4 \times 10^{-5}$  (data *maintenance*)
- $\lambda/\text{Thn}$  =  $6.4 \times 10^{-5} \times 24 \times 365 = 0.559/\text{thn}$
- Reliability (R) =  $e^{-\lambda t}$  (t = 1 tahun) sehingga diperoleh 0.571
- ICL =  $1 - R = \mathbf{0.342869}$

Layer Proteksi :

- Desain Proses = 0.1
- BPCS = 0.1
- Alarm = 1
- *Additional mitigation restricted access :*
  - \* Probability of Fatal Injury ( $P_{tr}$ ) = 1 (Operasi kontinyu)

\* Probability of Personnal in Affected Area (Pp)

$$Pp = \frac{\text{time present to hazards}}{\text{total time}} = \frac{60 \text{ menit}}{120 \text{ menit}} = 0.5$$

- Additional mitigation Dike (Bunds), PRV = 0.01

$$\text{IEL} = \text{ICL} \times \text{PFD}_1 \times \text{PFD}_2 \times \dots \times \text{PFD}_n \times P_p \times P_i \times P_{tr}$$

$$\text{IEL} = 0.342869 \times 0.1 \times 0.1 \times 1 \times (1 * 0.5) \times 0.01$$

$$\text{IEL} = 1.71434 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = \frac{\text{TMEL}}{\text{IEL}} \text{ dengan TMEL} = 1 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = 1 \times 10^{-5} / 1.71434 \times 10^{-5} = 0.583314$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA diatas nilai SIL adalah **SIL 0**

**Initiating Cause (2)** : FV-047 failed to open

**ICL** : **0.701388**

- $\lambda/\text{Jam}$  =  $1.4 \times 10^{-4}$  (data *maintenance*)
- $\lambda/\text{Thn}$  =  $1.4 \times 10^{-4} \times 24 \times 365 = 1.209/\text{thn}$
- Reliability (R) =  $e^{-\lambda t}$  (t = 1 tahun) sehingga diperoleh 0.299
- ICL =  $1 - R = \mathbf{0.701388}$

Layer Proteksi :

- Desain Proses = 0.1
- BPCS = 0.1
- Alarm = 1
- Additional mitigation restricted access :

\* Probability of Fatal Injury (P<sub>tr</sub>) = 1 (Operasi kontinyu)

\* Probability of Personnal in Affected Area (Pp)

$$Pp = \frac{\text{time present to hazards}}{\text{total time}} = \frac{60 \text{ menit}}{120 \text{ menit}} = 0.5$$

- Additional mitigation Dike (Bunds), PRV = 0.01

$$\text{IEL} = \text{ICL} \times \text{PFD}_1 \times \text{PFD}_2 \times \dots \times \text{PFD}_n \times P_p \times P_i \times P_{tr}$$

$$\text{IEL} = 0.701388 \times 0.1 \times 0.1 \times 1 \times (1 * 0.5) \times 0.01$$

$$IEL = 3.50694 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = \frac{TMEL}{IEL} \text{ dengan } TMEL = 1 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = 1 \times 10^{-5} / 3.60594 \times 10^{-5} = 0.285149$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA diatas nilai SIL adalah **SIL 0**

d. **Impact Event Description** : Failed of drying and cooling zone process

**Initiating Cause** : XV-053 failed to close

**ICL** : **0.502591**

- $\lambda/\text{Jam}$  =  $8 \times 10^{-5}$  (data *maintenance*)
- $\lambda/\text{Thn}$  =  $8 \times 10^{-5} \times 24 \times 365 = 0.698/\text{thn}$
- Reliability (R) =  $e^{-\lambda t}$  (t = 1 tahun) sehingga diperoleh 0.497
- ICL =  $1 - R = \mathbf{0.502591}$

Layer Proteksi :

- Desain Proses = 0.1
- BPCS = 1
- Alarm = 0.1
- *Additional mitigation restricted access* :
  - \* Probability of Fatal Injury ( $P_{tr}$ ) = 1 (Operasi kontinyu)
  - \* Probability of Personnal in Affected Area ( $P_p$ )

$$P_p = \frac{\text{time present to hazards}}{\text{total time}} = \frac{60 \text{ menit}}{120 \text{ menit}} = 0.5$$

- *Additional mitigation Dike (Bunds), PRV* = 0.01

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times \dots \times PFD_n \times P_p \times P_i \times P_{tr}$$

$$IEL = 0.502591 \times 0.1 \times 1 \times 0.1 \times (1 \times 0.5) \times 0.01$$

$$IEL = 2.551295 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = \frac{TMEL}{IEL} \text{ dengan } TMEL = 1 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = 1 \times 10^{-5} / 2.51295 \times 10^{-5} = 0.397938$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA diatas nilai SIL adalah **SIL 0**



e. **Impact Event Description** : Failed of cooling zone process, Air heater fails to work, Failure of drying zone process

**Initiating Cause (1)** : XV-052 failed to open

**ICL** : **0.502591**

- $\lambda/\text{Jam}$  =  $8 \times 10^{-5}$  (data *maintenance*)
- $\lambda/\text{Thn}$  =  $8 \times 10^{-5} \times 24 \times 365 = 0.698/\text{thn}$
- Reliability (R) =  $e^{-\lambda t}$  (t = 1 tahun) sehingga diperoleh 0.497
- ICL =  $1 - R = \mathbf{0.502591}$

Layer Proteksi :

- Desain Proses = 0.1
- BPCS = 1
- Alarm = 0.1
- *Additional mitigation restricted access* :
  - \* Probability of Fatal Injury ( $P_{tr}$ ) = 1 (Operasi kontinyu)
  - \* Probability of Personnal in Affected Area ( $P_p$ )

$$P_p = \frac{\text{time present to hazards}}{\text{total time}} = \frac{60 \text{ menit}}{120 \text{ menit}} = 0.5$$

- *Additional mitigation Dike (Bunds), PRV* = 0.01

$$\mathbf{IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times \dots \times PFD_n \times P_p \times P_i \times P_{tr}}$$

$$IEL = 0.502591 \times 0.1 \times 1 \times 0.1 \times (1 * 0.5) \times 0.01$$

$$IEL = 2.551295 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = \frac{TMEL}{IEL} \text{ dengan } TMEL = 1 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = 1 \times 10^{-5} / 2.51295 \times 10^{-5} = 0.397938$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA diatas nilai SIL adalah **SIL 0**

**Initiating Cause (2)** : XV-051 failed to open

**ICL** : **0.502591**

- $\lambda/\text{Jam}$  =  $8 \times 10^{-5}$  (data *maintenance*)
- $\lambda/\text{Thn}$  =  $8 \times 10^{-5} \times 24 \times 365 = 0.698/\text{thn}$
- Reliability (R) =  $e^{-\lambda t}$  (t = 1 tahun) sehingga diperoleh 0.497
- ICL =  $1 - R = \mathbf{0.502591}$

Layer Proteksi :

- Desain Proses = 0.1
- BPCS = 1
- Alarm = 0.1
- *Additional mitigation restricted access :*
  - \* Probability of Fatal Injury ( $P_{tr}$ ) = 1 (Operasi kontinyu)
  - \* Probability of Personnal in Affected Area ( $P_p$ )

$$P_p = \frac{\text{time present to hazards}}{\text{total time}} = \frac{60 \text{ menit}}{120 \text{ menit}} = 0.5$$

- *Additional mitigation Dike (Bunds), PRV* = 0.01

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times \dots \times PFD_n \times P_p \times P_i \times P_{tr}$$

$$IEL = 0.502591 \times 0.1 \times 1 \times 0.1 \times (1 \times 0.5) \times 0.01$$

$$IEL = 2.551295 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = \frac{TMEL}{IEL} \text{ dengan TMEL} = 1 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = 1 \times 10^{-5} / 2.51295 \times 10^{-5} = 0.397938$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA diatas nilai SIL adalah **SIL 0**

f. **Impact Event Description** : Clorination Process Failed

**Initiating Cause (1)** : XV-055 failed to open

**ICL** : **0.597566**

- $\lambda/\text{Jam}$  =  $1 \times 10^{-4}$  (data *maintenance*)
- $\lambda/\text{Thn}$  =  $1 \times 10^{-4} \times 24 \times 365 = 0.910/\text{thn}$
- Reliability (R) =  $e^{-\lambda t}$  (t = 1 tahun) sehingga diperoleh 0.402
- ICL =  $1 - R$  = **0.597566**

Layer Proteksi :

- Desain Proses = 0.1
- BPCS = 1
- Alarm = 0.1
- *Additional mitigation restricted access :*
  - \* Probability of Fatal Injury ( $P_{tr}$ ) = 1 (Operasi kontinyu)
  - \* Probability of Personnal in Affected Area ( $P_p$ )

$$P_p = \frac{\text{time present to hazards}}{\text{total time}} = \frac{60 \text{ menit}}{120 \text{ menit}} = 0.5$$

- Additional mitigation Dike (Bunds),  $PRV = 0.01$

$$IEL = ICL \times PFD_1 \times PFD_2 \times \dots \times PFD_n \times P_p \times P_i \times P_{tr}$$

$$IEL = 0.597566 \times 0.1 \times 1 \times 0.1 \times (1 \times 0.5) \times 0.01$$

$$IEL = 2.98783 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = \frac{TMEL}{IEL} \text{ dengan } TMEL = 1 \times 10^{-5}$$

$$\text{Rasio LOPA} = 1 \times 10^{-5} / 2.98783 \times 10^{-5} = 0.334691$$

Berdasarkan hasil rasio LOPA diatas nilai SIL adalah **SIL 0**



## LAMPIRAN C

**Tabel Kombinasi Konfigurasi SIS**

Sensing Element		Final Element		Rekomendasi
Konfigurasi	SIL	Konfigurasi	SIL	SIL
1001	0	1001	0	0
1001	0	1002	1	0
1001	0	1003	1	0
1001	0	2002	0	0
1001	0	2003	0	0
1001	0	2004	1	0
1002	1	1001	0	0
1002	1	1002	1	1
1002	1	1003	1	1
1002	1	2002	0	0
1002	1	2003	0	0
1002	1	2004	1	1
1003	2	1001	0	0
1003	2	1002	1	1
1003	2	1003	1	1
1003	2	2002	0	0
1003	2	2003	0	0
1003	2	2004	1	1

Sensing Element		Final Element		Rekomendasi
Konfigurasi	SIL	Konfigurasi	SIL	SIL
2002	0	1001	0	0
2002	0	1002	1	0
2002	0	1003	1	0
2002	0	2002	0	0
2002	0	2003	0	0
2002	0	2004	1	0
2003	0	1001	0	0
2003	0	1002	1	0
2003	0	1003	1	0
2003	0	2002	0	0
2003	0	2003	0	0
2003	0	2004	1	0
2004	1	1001	0	0
2004	1	1002	1	1
2004	1	1003	1	1
2004	1	2002	0	0
2004	1	2003	0	0
2004	1	2004	1	1

## BIODATA PENULIS



Penulis mempunyai nama lengkap **Rinanda Dwi Purnama Asty**, lahir di Surabaya pada tanggal 22 April 1995 dan merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis melewati masa kecil tepatnya di Kota Surabaya dengan menempuh pendidikan di SDN Ketabang 01, Surabaya, kemudian SMPN 1 Surabaya. Kemudian melanjutkan studi di SMAN 2 Surabaya yang kemudian dilanjutkan ke ITS Jurusan Teknik Fisika pada tahun 2012 melalui jalur SNMPTN undangan dengan NRP 2412100018. Hingga pada tahun 2016 penulis akhirnya melaksanakan Tugas Akhir sebagai syarat untuk menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknik Fisika dengan judul **“STUDI HAZOP BERBASIS LAYER OF PROTECTION ANALYSIS PADA REGENERATION TOWER 32-R-104 CONTINOUS CATALYTIC REGENERATION NAPTHA PROCESS UNIT PT. PERTAMINA”**. Bagi pembaca yang memiliki saran, kritik, atau ingin berdiskusi lebih lanjut tentang Tugas Akhir ini, bisa menghubungi penulis melalui [rinandasty@gmail.com](mailto:rinandasty@gmail.com).